



**TUGAS AKHIR - SF 141501**

**KOREKSI STRUKTUR LAPANGAN “LP” DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *PRE STACK DEPTH  
MIGRATION* (PSDM)**

**Lina Purnawati  
NRP 1112 100 041**

**Dosen Pembimbing  
Dr.rer.nat. Eko Minarto, M, Si**

**Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**FINAL PROJECT - SF 141501**

**CORRECTION STRUCTURE “LP” FIELD WITH USING  
*PRE STACK DEPTH MIGRATION (PSDM) METHOD***

**Lina Purnawati  
NRP 1112 100 041**

**Advisor Lecturer  
Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si**

**Physics Departement  
Faculty Matematics and Natural Science  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**

**KOREKSI STRUKTUR LAPANGAN “LP” DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *PRE STACK DEPTH  
MIGRATION* (PSDM)**

**TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh:

**LINA PURNAWATI**

**NRP. 1112 100 041**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

**Dr. rer.nat. Eko Minarto, M.Si**



**Surabaya, 12 Juni 2016**

# **KOREKSI STRUKTUR LAPANGAN “LP” DENGAN MENGUNAKAN METODE *PRE STACK DEPTH MIGRATION* (PSDM)**

Nama : Lina Purnawati  
NRP : 1112 100 041  
Jurusan : Fisika FMIPA-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si

## **Abstrak**

*Penelitian Tugas Akhir dengan judul “Koreksi Struktur Lapangan “LP” dengan Menggunakan Metode Pre Stack Depth Migration (PSDM)”. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengoreksi citra bawah permukaan yang dihasilkan oleh proses pre stack depth migration (PSDM), Untuk mengetahui pengaruh pemodelan kecepatan dengan menggunakan horizon based depth tomography pada proses pre stack depth migration (PSDM), Untuk mengetahui manfaat dari metode pre stack depth migration (PSDM) common reflection angle migration (CRAM). Koreksi struktur lapangan “LP” dengan menggunakan metode pre stack depth migration (PSDM). Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di PT. PERTAMINA UTC (Upstream Technology Center), Gedung Kwarnas, Jalan Merdeka Timur, No.7 Jakarta Pusat 10110, Indonesia. Alat yang digunakan adalah berupa satu unit CPU dengan 2 layar masing-masing 30 inci dengan system operasi linux (read head), menggunakan software Paradigm 2011.3 Epos 4.1. Metode yang dilakukan pada awal penelitian ini adalah proses PSTM terlebih dahulu, dengan input berupa CDP gather dan Vrms hasil dari stacking velocity, selanjutnya dilakukan transformasi Vrms menjadi Vinterval untuk input proses PSDM, kemudian dilakukan perbaikan kecepatan dengan metode horizon based depth tomography untuk proses final PSDM menggunakan common reflection angle migration (CRAM). Pre Stack Depth Migration (PSDM) merupakan teknik migrasi sebelum stack dengan variasi kecepatan medium sangat kompleks seperti thrust*

*belt, zona di sekitar karbonat (reef), kubah garam (salt dome), dan sebagainya. Kedalaman adalah untuk pembandingan model geologi dalam pembuatan model kecepatan. Pada dasarnya hasil metode pre stack depth migration (PSDM) memberikan citra bawah permukaan yang lebih akurat ketika kecepatan interval yang digunakan adalah sesuai atau mendekati kecepatan aslinya. Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa Proses pre stack depth migration (PSDM) memberikan resolusi citra bawah permukaan yang lebih baik dibandingkan dari hasil proses pre stack time migration (PSTM) terbukti dengan adanya kemenerusan pola reflektor yang lebih jelas, dan (PSDM) mampu mengoreksi efek pull up yang ada pada proses (PSTM). Metode horizon based depth tomography merupakan metode yang tepat untuk menentukan model interval velocity. Metode ini mampu melakukan perbaikan terhadap model interval velocity yang sesuai untuk migrasi domain kedalaman pre stack depth migration (PSDM). Hasil interval velocity yang baik dapat memberikan citra bawah permukaan yang lebih maksimal. Metode pre stack depth migration (PSDM) common reflection angle migration (CRAM) dapat mengatasi masalah imaging pada struktur yang kompleks sehingga metode PSDM CRAM ini dapat memberikan hasil citra bawah permukaan yang lebih baik karena menggunakan konsep multipath.*

**Kata Kunci:** *PSTM, PSDM, Horizon Based Depth Tomography*

# **CORRECTION STRUCTURE “LP” FIELD WITH USING PRE STACK DEPTH MIGRATION (PSDM) METHOD**

Name : Lina Purnawati  
NRP : 1112 100 041  
Subject : Physics Faculty Matematics and Natural  
Science-ITS  
Advisor Lecturer : Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si

## **Abstract**

*Final study entitled "Correction Structure "LP" Field With Using Pre Stack Depth Migration (PSDM) Method". The purpose of this experiment is to correct the image of the subsurface is generated by the process of pre-stack depth migration (PSDM), to determine the influence of the modeling speed by using a horizon based depth tomography in the pre stack depth migration (PSDM), To know the benefits the methods of pre stack depth migration (PSDM) common reflection angle migration (CRAM). Correction structure field "LP" using Pre Stack Depth Migration (PSDM). This research are suggested at PT. Pertamina UTC (Upstream Technology Center), Kwarnas Building, Jalan Merdeka Timur, 7 Central Jakarta 10110, Indonesia. The tools used are in the form of a CPU unit with 2 screens each 30 inch brackish with the Linux operating system (read head), using 2011.3 Paradigm Epos 4.1 software. The method used at the beginning of this research is the process of PSTM first, with the input of CDP gather and Vrms, result of stacking velocity, further transformation Vrms be Vinterval to input process PSDM, then do speed improvements to the method horizon based depth tomography for the final PSDM uses a common reflection angle migration (CRAM). Pre Stack Depth Migration (PSDM) is a technique migration before stack with very complex medium speed variation such as thrust belt, the zone around carbonates (reef), a salt dome (salt dome), and so forth. Depth is for comparative geological model for modeling*

*speed. Basically the results of the methods of pre stack depth migration (PSDM) give the image of the subsurface is more accurate when the speed interval used was appropriate or close to its original speed. From the conclusion, that the process of pre-stack depth migration (PSDM) provides image resolution subsurface is better than from the process of pre-stack time migration (PSTM) proved by the continuity of pattern reflector clearer, and HRD able to correct the effects of pull up the existing process (PSTM). Methods based depth horizon tomography is an appropriate method to determine the interval velocity models. This method is be able to make improvements to the interval velocity models suitable for Pre Stack Depth Migration domain depth migration (PSDM). Results interval velocity is good to give the image of subsurface maximum. Methods of pre stack depth migration (PSDM) common reflection angle migration (CRAM) can overcome the problem of imaging on complex structures that CRAM PSDM method can deliver results subsurface image better because it uses the concept of multipath.*

**Keywords:** *PSTM, PSDM, Horizon Depth Based Tomography*

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b> .....	i
<b>Lembar Pengesahan</b> .....	iii
<b>Abstrak</b> .....	iv
<b>Kata Pengantar</b> .....	vii
<b>Daftar Isi</b> .....	xi
<b>Daftar Gambar</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Sistematika Laporan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Gelombang seismik .....	5
2.2 <i>Common Depth Point (CDP) gathering</i> .....	8
2.3 Koreksi <i>Normal Move Out (NMO)</i> dan <i>Dip Move Out (DMO)</i> .....	9
2.4 Migrasi .....	11
2.5 <i>Pre Stack Migration</i> .....	15
2.6 <i>Pre Stack Time Migration (PSTM)</i> .....	15
2.7 <i>Pre Stack Depth Migration (PSDM)</i> .....	19
2.8 <i>Common Reflection Angle Migration (CRAM)</i> .....	21
2.9 <i>Formula Migrasi CRAM</i> .....	25
2.10 <i>Update Model Kecepatan</i> .....	27
2.11 <i>Constrained Velocity Inversion (CVI)</i> .....	33
2.12 Prinsip Penjalaran Gelombang Seismik .....	36
2.13 Konsep Dasar Metode Inversi .....	37
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat Penelitian .....	43
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	43
3.3.1 Perangkat keras ( <i>hardware</i> ) .....	43
3.3.2 Perangkat lunak ( <i>software</i> ) .....	44
3.3.3. Data .....	45



3.3 Cara Kerja .....	46
3.4 <i>Base Map</i> .....	47
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 <i>Pre Stack Time Migration</i> (PSTM).....	49
4.2 <i>Pre Stack Depth Migration</i> (PSDM).....	53
4.2.1 <i>Constrained Velocity Inversion</i> (CVI).....	53
4.2.2 <i>Pre Stack Depth Migration</i> (PSDM).....	55
4.2.3 Perbaikan Model Kecepatan Interval Menggunakan Metode <i>Horizon Based Depth Tomography</i> .....	58
4.2.4 <i>Pre Stack Depth Migration</i> (PSDM) <i>Final</i> .....	60
4.3 Perbandingan <i>Pre Stack Time Migration</i> (PSTM) dengan <i>Pre Stack Depth Migration</i> (PSDM).....	65
4.4 Interpretasi hasil <i>Pre Stack Depth Migration</i> (PSDM).....	74
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan. ....	81
5.2 Saran .....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	83
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	87

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis-jenis gelombang badan ( <i>body wave</i> ): gelombang primer/ <i>pressure P</i> dan gelombang sekunder/ <i>shear S</i> .....	6
Gambar 2.2 Gelombang permukaan <i>surface wave</i> ): <i>gelombang Love</i> , dan <i>gelombang</i> <i>Rayleigh</i> .....	7
Gambar 2.3 Konfigurasi gelombang ( <i>trace</i> ) dalam pengambilan data seismik.....	9
Gambar 2.4 Koreksi NMO dengan variasi kecepatan .....	10
Gambar 2.5 Proses migrasi yang memindahkan reflektor miring ke posisi yang sebenarnya pada penampang seismik, (kanan) sesudah (kiri) sebelum proses migrasi .....	12
Gambar 2.6 Model penampang seismik sebelum dan sesudah dilakukan proses migrasi .....	12
Gambar 2.7 Simulasi penghilangan efek mispositioning karena reflektor yang miring .....	14
Gambar 2.8 <i>Elliptical impulse response</i> yang merupakan fungsi dari kecepatan <i>offset</i> dan kedalaman .....	17
Gambar 2.9 Kurva difraksi .....	18
Gambar 2.10 Gambar penampang bawah permukaan ...	19
Gambar 2.11 Penampang seismik dari kedua metode pengolahan data seismik (a) data seismik tahun 2006 metode PSTM <i>random line</i> (b) data seismik tahun 2010 metode PSDM <i>random line</i> , metode PSDM masih dalam domain waktu .....	21
Gambar 2.12 <i>CRP gather</i> hasil migrasi dimensi kedalaman dengan menggunakan metode <i>CRAM</i> (kanan)	23

dan metode <i>konvensional</i>	
(kiri).....	24
Gambar 2.13 Pasangan sinar ( <i>incident</i> dan <i>scattered</i> ) pada titik M dibawah permukaan dan 4 sudut yang berasosiasi dengan <i>Local Angle Domain</i> .....	27
Gambar 2.14 Konsep <i>Time residual</i> .....	29
Gambar 2.15 Mapping struktur pada persamaan 2.16.....	31
Gambar 2.16 Geometri <i>nonzero-offset ray</i> untuk membangun teori tomografi waktu tempuh refleksi .....	35
Gambar 2.17 Gambar kiri merupakan <i>instantaneous velocity model (scaled from depth)</i> dan gambar kanan merupakan hasil dari <i>velocity interval</i> .....	36
Gambar 2.18 <i>Input vertical function and RMS velocity section obtained after inversion</i> (kiri), <i>vertical function and result of inversion</i> (tengah), <i>CMP gather</i> (kanan) ...	39
Gambar 2.19 Macam metode seismik inversi.....	40
Gambar 2.20 Diagram konsep dasar inversi.....	40
Gambar 2.21 Reflektor mendatar pada kedalaman z. Kecepatan gelombang $v$ dianggap konstan. S adalah sumber gelombang seismik dan R adalah penerima gelombang seismik. Jarak antara S dan R disebut <i>offset</i> ( $x$ ). Garis merah adalah lintasan gelombang seismik.....	42
Gambar 2.22 Reflektor miring dengan sudut kemiringan sebesar $\alpha$ . Kecepatan gelombang $v$ dianggap konstan. S adalah sumber gelombang seismik dan R adalah penerima gelombang seismik. Jarak antara S dan R disebut <i>offset</i> ( $x$ ). Sementara garis merah yang ada panahnya adalah lintasan gelombang seismik.....	44
Gambar 3.1 Perangkat keras ( <i>Hardware</i> ) yang digunakan.....	

Gambar 3.2 Perangkat lunak ( <i>Software</i> ) yang digunakan.....	44
Gambar 3.3 Diagram alir pengolahan data seismik metode PSTM dan PSDM.....	46
Gambar 3.4 <i>Base map</i> data yang digunakan untuk penelitian .....	47
Gambar 4.1 Contoh <i>picking</i> pada <i>semblance stacking</i> .....	49
Gambar 4.2 Hasil <i>Vrms</i> dari <i>line 1</i> untuk gambar (a) dan <i>line 2</i> untuk gambar (b).....	50
Gambar 4.3 Penampang yang dihasilkan dari proses <i>Pre Stack Time Migration</i> (PSTM) untuk gambar (a) <i>line 1</i> dan untuk gambar (b) <i>line 2</i> .....	52
Gambar 4.4 Hasil <i>transformasi Vrms</i> ke <i>Vinterval</i> dengan menggunakan metode CVI untuk gambar (a) <i>line 1</i> dan untuk gambar (b) <i>line 2</i> .....	54
Gambar 4.5. Interpretasi di setiap <i>horizon</i> untuk pemodelan pada proses tomografi gambar (a) untuk <i>line 1</i> dan gambar (b) untuk <i>line 2</i> .....	56
Gambar 4.6. Hasil dari interpretasi di setiap <i>horizon</i> untuk pemodelan pada proses tomografi (a) <i>line 1</i> dan (b) <i>line 2</i> .....	53
Gambar 4.7. Pemodelan kecepatan interval pada proses tomografi (a) <i>line 1</i> dan (b) <i>line 2</i> .....	58
Gambar 4.8. Hasil perbaikan <i>interval velocity</i> dengan metode <i>horizon based tomography line 1</i> (atas) dan <i>line 2</i> (bawah).....	60
Gambar 4.9. Hasil dari proses <i>Pre Stack Depth Migration</i> (PSDM) <i>line 1</i> untuk gambar (a) CRAM, domain <i>angle</i> dan pada gambar (b) konvensional, <i>kirchhoff</i> domain <i>offset</i> .....	63
Gambar 4.10. Hasil dari proses <i>Pre Stack Depth Migration</i> (PSDM) <i>line 2</i> untuk gambar (a) CRAM, domain <i>angle</i> dan pada gambar (b) konvensional, <i>kirchhoff</i> domain <i>offset</i> .....	64

Gambar 4.11. Penampang <i>depth migrated gather</i> dari hasil <i>Pre Stack time Migration</i> (PSTM) <i>line 1</i> (a) dan <i>line 2</i> (b).....	66
Gambar 4.12. Penampang <i>migrated gather</i> dari hasil <i>Pre Stack Depth Migration</i> (PSDM) <i>line 1</i> (a) dan <i>line 2</i> (b) .	67
Gambar 4.13. Hasil metode <i>Pre Stack Time Migration</i> (PSTM) <i>line 1</i> (a) dan <i>line 2</i> (b).....	70
Gambar 4.14. Hasil metode <i>Pre Stack Depth Migration</i> (PSDM) <i>line 1</i> untuk gambar (a) CRAM, domain <i>angle</i> dan pada gambar (b) konvensional, <i>kirchhoff</i> domain <i>offset</i> .....	71
Gambar 4.15. Hasil metode <i>Pre Stack Depth Migration</i> (PSDM) <i>line 2</i> untuk gambar (a) CRAM, domain <i>angle</i> dan pada gambar (b) konvensional, <i>kirchhoff</i> domain <i>offset</i> .....	72
Gambar 4.16. Interpretasi hasil proses <i>pre stack depth Migration</i> (PSDM) <i>line 1</i> dengan menggunakan (a). CRAM domain <i>angle</i> , untuk gambar (b). konvensional <i>Kirchhoff</i> domain <i>offset</i> , gambar (c). Hasil overlay <i>velocity interval and section</i> .....	76
Gambar 4.17. Interpretasi hasil proses <i>pre stack depth Migration</i> (PSDM) <i>line 2</i> dengan menggunakan (a). CRAM domain <i>angle</i> , untuk gambar (b). konvensional <i>Kirchhoff</i> domain <i>offset</i> , gambar (c). Hasil overlay <i>velocity interval and section</i> .....	78

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Metode seismik refleksi memberikan kontribusi besar dalam kegiatan eksplorasi seismik. Hal ini disebabkan karena metode ini mempunyai ketepatan serta resolusi yang tinggi dalam memodelkan struktur geologi dibawah permukaan bumi. Metode ini dapat menentukan titik pemboran dan menunjukkan keberhasilan dalam meningkatkan *success ratio* pemboran (Priyono, 2006). Metode seismik pantul (*reflection*) pada prinsipnya menggunakan sumber (*source*) aktif untuk menciptakan sumber gelombang yang di bangkitkan dengan menggunakan bantuan seperti: *weightdrop*, *vibrouseis*, *dinamit*, dan lain-lain. Sehingga gelombang tersebut merambat kesegala arah dalam lapisan bumi yang bersifat elastic, pada saat mencapai bidang antar pelapisan maka gelombang tersebut ada yang terpantulkan dan sebagian terbiaskan, kemudian gelombang diterima oleh sensor yang disebut *Geophone* untuk di darat, dan *Hydrophone* untuk di laut.

Struktur lapangan “LP” pada penelitian ini merupakan lapisan karbonat yang sangat kompleks, terdapat anomali efek *pull up* dan ketidakmenerusan reflektor, selain itu terdapat banyak sekali *event* seismik yang perlu dilakukan analisis secara mendetail. Untuk mendapatkan gambar struktur bawah permukaan yang sebenarnya maka dilakukan pengolahan data seismik. Pengolahan data seismik dilakukan karena hasil data akuisisi di lapangan masih banyak di pengaruhi oleh *noise* dan belum menggambarkan struktur geologi bawah permukaan yang sebenarnya sehingga perlu dilakukan teknik-teknik *processing* data seismik yang akurat akurat. (Nusantara, dkk, 2015). Menurut Hasanudin, 2005, migrasi merupakan proses untuk memindahkan kedudukan reflektor pada posisi dan waktu pantul yang sebenarnya. Migrasi berdasarkan tipenya dibagi menjadi migrasi sebelum *stack* (*pre stack migration*) dan migrasi sesudah *stack* (*post stack migration*). *Post stack*

*migration* dan *pre stack migration* dapat dilakukan dengan domain waktu dan kedalaman (Yilmaz, 1987).

*Pre stack migration* digunakan juga pada domain waktu *Pre Stack Time Migration* (PSTM) hanya dapat menggambarkan struktur bawah permukaan pada domain waktu dengan anggapan variasi kecepatan *Vrms* secara horizontal. Dari hasil proses *pre stack time migration* (PSTM) pada penelitian ini masih belum memberikan hasil yang maksimal, sehingga perlu dilakukan perbaikan. Perbaikan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode *pre stack depth migration* (PSDM). Tipe migrasi *pre stack depth migration* (PSDM) ini dapat menggambarkan struktur bawah permukaan yang lebih kompleks dan variasi kecepatan yang lebih baik. Keakuratan ini dikarenakan *pre stack depth migration* (PSDM) melakukan pemfokusan terhadap suatu titik reflektor pada kondisi dimana terjadi perubahan kecepatan secara lateral.

Metode *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) ini sangat bergantung dengan pemodelan kecepatan yang dibuat agar menghasilkan penampang yang lebih akurat maka pada penelitian tugas akhir ini dilakukan pemodelan kecepatan awal dengan menggunakan *Constained Velocity Inversion* (CVI) yang merupakan parameter *velocity modeling* untuk menghasilkan kecepatan *interval* yang mendekati kecepatan sebenarnya, dengan menggunakan metode CVI ini, *velocity modeling* yang dihasilkan lebih *smooth*, lebih bagus, dan lebih detail untuk hasil penampangnya (Zvi Koren and Igor Ravve, 2015). Pada penelitian ini menggunakan pemodelan kecepatan dengan menggunakan metode *horizon based depth tomography*, metode ini dilakukan untuk mendapatkan model kecepatan yang sebenarnya dimana kecepatan *interval* yang akurat akan memberikan hasil yang lebih baik pada proses *pre stack depth migration* (PSDM) *final*. Untuk memberikan hasil yang lebih baik pada saat proses *pre stack depth migration* (PSDM) *final*, maka pada penelitian ini menggunakan metode migrasi *Common Reflection Angle Migration* (CRAM). Dimana, pada metode migrasi *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) ini merupakan salah satu teknik migrasi yang

berdasarkan konsep multi-arrival, yang bekerja berdasarkan ray tracing menggunakan seluruh bagian gelombang dalam aperture yang terkontrol (Zvi Koren and Igor Ravve, 2015). Dengan dilakukan perbaikan menggunakan *pre stack depth migration* (PSDM) *common reflection angle migration* (CRAM) diharapkan dapat menghasilkan citra bawah permukaan yang lebih akurat dan sesuai dengan *subsurface* yang sebenarnya.

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengoreksi citra bawah permukaan yang dihasilkan oleh proses *pre stack depth migration* (PSDM)
2. Untuk mengetahui pengaruh pemodelan kecepatan dengan menggunakan *horizon based depth tomography* pada proses *pre stack depth migration* (PSDM)
3. Untuk mengetahui manfaat dari metode *pre stack depth migration* (PSDM) *common reflection angle migration* (CRAM)

3

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Data yang digunakan adalah data 2D dengan 2 lintasan pada lapangan “LP”
2. Data *input* berupa *CDP gather* yang sudah melalui proses *pre-processing*
3. Pemodelan kecepatan awal menggunakan metode *Constrained velocity inversion* (CVI)
4. Perbaikan model kecepatan menggunakan metode *Horizon Based Depth Tomography*
5. Proses migrasi menggunakan metode migrasi *Common Reflection Angle Migration* (CRAM)



#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai ilmu pengetahuan, dan informasi bagi pembaca dan instansi terkait untuk mendalami metode seismik khususnya dalam pengolahan data seismik menggunakan metode *Pre stack Depth Migration* (PSDM) menggunakan migrasi *common reflection angle migration* (CRAM) serta untuk mengetahui penampang bawah permukaan yang dihasilkan oleh metode *pre stack time migration* (PSTM) dan metode *pre stack depth migration* (PSDM).

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan pada laporan penelitian tugas akhir ini antara lain:

BAB I : Pendahuluan yang meliputi latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka meliputi teori yang digunakan sebagai landasan penyusunan tugas akhir.

BAB III : Metode Penelitian yang meliputi tempat penelitian, jadwal penelitian, alat dan bahan penelitian, cara kerja, dan data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini.

BAB IV : Hasil dan Pembahasan yang meliputi tahap pengolahan dan analisa data yang didapatkan selama pelaksanaan tugas akhir.

BAB V : Penutup merupakan bagian penutup tugas akhir yang meliputi kesimpulan dan saran.

Daftar Pustaka

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Gelombang Seismik

Secara konsep dasar metode seismik adalah sebuah metode yang mengirimkan sebuah sinyal gelombang seismik kedalam bumi, gelombang seismik juga termasuk kedalam gelombang mekanik dimana memerlukan medium untuk perambatannya. Metode seismik menggunakan sumber aktif dimana untuk membangkitkan suatu gelombang tersebut harus menggunakan bahan peledak atau dinamit, *weightdrop*, *vibroseis*, *air gun*, dan lain sebagainya. Gelombang seismik merambat kedalam bumi sehingga pada saat mencapai bidang antar pelapisan gelombang tersebut ada yang terpantulkan dan sebagian ada yang terbiaskan, kemudian gelombang diterima oleh sensor yang disebut dengan *Geophone* untuk di darat, dan *Hydrophone* untuk di laut.

Gelombang seismik membawa informasi mengenai lithologi bawah permukaan dalam bentuk waktu tempuh (*travel time*), amplitudo gelombang frekuensi, dan fase gelombang. Waktu datang gelombang pantul akan memberikan informasi kecepatan rambat gelombang (*velocity*), penjalaran gelombang seismik didalam bumi dapat digunakan untuk mendeteksi dan menggambarkan kondisi bawah permukaan (*subsurface*). Gelombang seismik merambat melewati batuan sebagai gelombang elastik yang berosilasi pada partikel-partikel medium akibat adanya interaksi antar gaya seperti: gaya tekanan (*stress*) yang melawan gaya-gaya elastik.

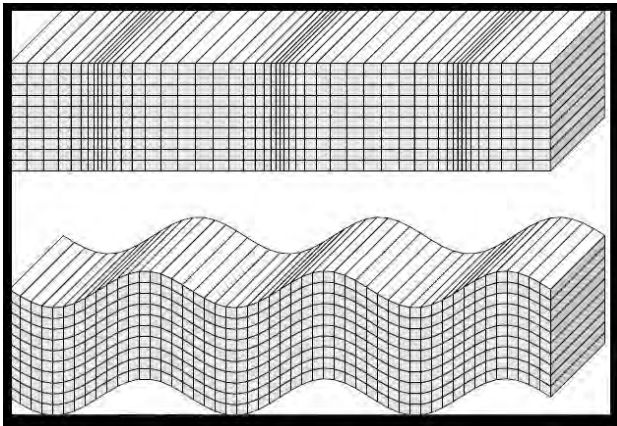
Dimensi dari gelombang seismik (*elastic wave*) jauh lebih besar jika dibandingkan dengan dimensi dari pergerakan partikel batuan. Menurut Sukmono (2008), Penjalaran gelombang seismik dapat ditampilkan kedalam bentuk kecepatan dan tekanan partikel yang disebabkan oleh getaran gelombang tersebut selama penjalarannya, kecepatan pergerakan partikel dalam batuan

menentukan kecepatan pada gelombang seismik.

Secara umum berdasarkan penjarannya, gelombang seismik dibagi menjadi dua yaitu: gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

a. Gelombang badan (*body wave*)

Gelombang badan (*body wave*) adalah gelombang yang merambat melalui medium di dalam bumi (Priyono, 2006). Berdasarkan sifatnya gelombang badan (*body wave*) dibagi menjadi dua yaitu: gelombang primer/*pressure* (P) dan gelombang skunder/*shear* (S) seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.

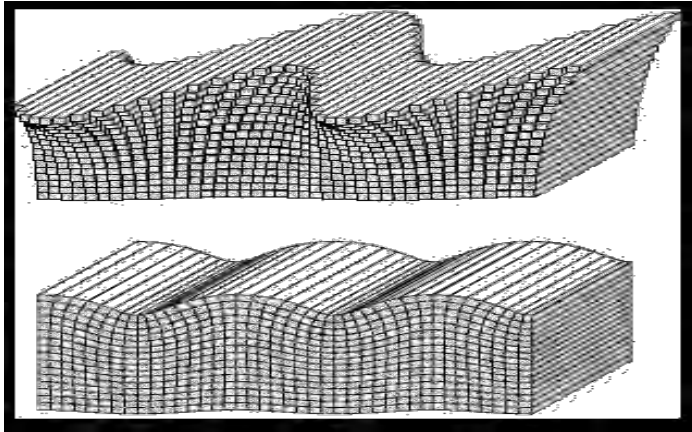


**Gambar 2.1.** Jenis-jenis gelombang badan (*body wave*): gelombang primer/*pressure* P dan gelombang sekunder/ *shear* S (Sumber: Shearer, 2009)

Pergerakan partikel gelombang primer/*pressure* (P) sejajar dengan arah penjarannya atau merambat secara longitudinal atau kompresi (Priyono, 2006). Kecepatan gelombang primer/*pressure* (P) bervariasi, gelombang primer/*pressure* (P) merambat dengan kecepatan sekitar 5-7 km/s di kerak bumi, kecepatan di mantel dan inti bumi sebesar > 8 km/s, kecepatan di air sebesar 1,5 km/s, dan kecepatan di udara sebesar 0,3 km/s (Braile, 2004).

b. Gelombang Permukaan (*Surface wave*)

Gelombang permukaan (*surface wave*) merupakan gelombang yang terjadi pada permukaan yang bebas dan menjalar dalam bentuk *ground roll* dengan kecepatan antara 500 m/s hingga 600 m/s (Priyono, 2006). Gelombang permukaan (*surface wave*) memiliki amplitudo besar dan frekuensi rendah. Ada dua jenis gelombang permukaan (*surface wave*) yaitu: gelombang *Love* dan gelombang *Rayleigh*, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Gelombang permukaan *surface wave*: gelombang *Love*, dan gelombang *Rayleigh* (Sumber: Shearer, 2009)

Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan (*surface wave*) yang gerakan partikelnya hampir sama dengan gelombang skunder/*shear* (S), yaitu terjadi secara transversal (Priyono, 2006). Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang terbesar dan amplitudonya meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman. Kecepatan gelombang *Love* mencapai 2 – 4,4 km/s, penetrasi gelombang *Love* bergantung pada frekuensi, semakin kecil frekuensi maka kecepatan dan penetrasinya akan semakin besar. Menurut Braile (2006), *Love* merambat lebih cepat dari pada gelombang *Rayleigh*.

Gerakan partikel yang dimiliki gelombang *Rayleigh* merupakan gerakan kombinasi dari partikel gelombang primer/*pressure* (P) dan gelombang skunder/*shear* (S). Gerakan

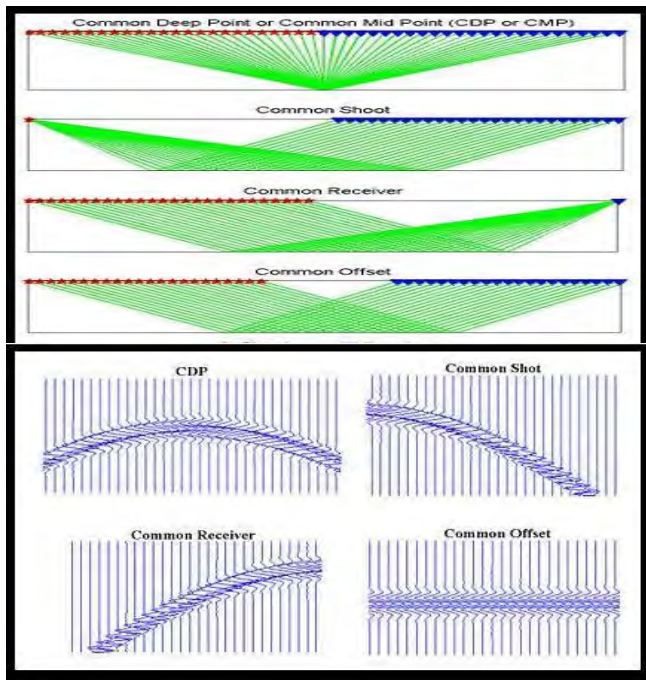
partikel gelombang ini terpolarisasi elips dan faktor amplitudonya mempunyai tanda keterbalikan sehingga gerakan partikelnya mundur (Priyono, 2006). Menurut Braile, 2006, gelombang *Rayleigh* antara 2 – 4,2 km/s dan penetrasi gelombang *Rayleigh* bergantung pada frekuensi, semakin kecil frekuensi maka kecepatan dan penetrasi akan semakin besar.

## **2.2 Common Depth Point (CDP) Gathering**

*Common Depth Point* (CDP) didefinisikan sebagai jejak gelombang (*trace*) yang digabungkan, yang mana memiliki koresponden refleksi bawah permukaan (*subsurface*) yang sama tapi memiliki perbedaan terhadap jarak. Menurut Sroor (2010), alasan utama dilakukan *Common Depth Point* (CDP) *Gathering* untuk meningkatkan sinyal dan meminimalisir *noise* (S/N ratio), karena ketika jejak gelombang (*trace*) digabung atau dijumlahkan sinyal dapat ditingkatkan dimana *noise* acak dapat dihilangkan. Sebelum dilakukan *stacking*, jejak gelombang (*trace*) terlebih dahulu dilakukan proses koreksi NMO (*Normal Move Out*) atau DMO (*Dip Move Out*) agar jejak gelombang (*trace*) kedalam posisi yang sebenarnya. Sedangkan *Common Depth Point* (CDP) adalah istilah dalam pengambilan data seismik untuk konfigurasi sumber dan penerima dimana terdapat satu titik tetap dibawah permukaan bumi seperti yang terdapat pada Gambar 2.3. Menurut Thariq, 2014, Secara matematis Normal Move Out di rumuskan sebagai berikut:

$$(Tx)^2 = [ (To)^2 + \frac{X}{V} ]^{1/2} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana Tx merupakan *Arrival Time*, X adalah panjang *offset*, dan V adalah kecepatan rambat pada lapisan. Besarnya koreksi tergantung pada dua variable, yaitu jarak *offset* dan kecepatan lapisan (Riyadi, Praditiyo, 2011).

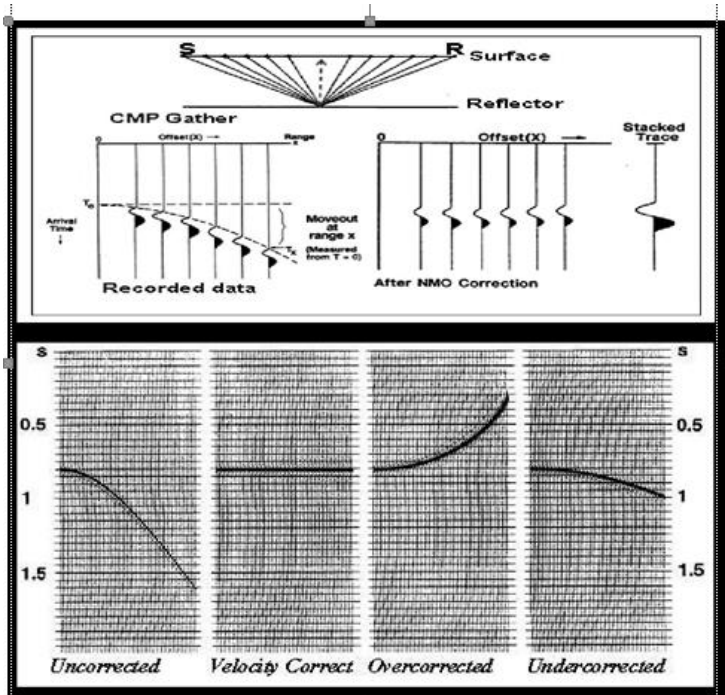


**Gambar 2.3.** Konfigurasi gelombang (*trace*) dalam pengambilan data seismik

### 2.3 Koreksi *Normal Move Out (NMO)* dan *Dip Move Out (DMO)*

Koreksi *Normal Move Out (NMO)* berfungsi menghilangkan pengaruh jarak (*offset*) terhadap waktu penjalaran gelombang. Sedangkan *Dip Move Out (DMO)* adalah sebuah proses yang bertujuan untuk menghilangkan pengaruh kemiringan reflektor pada kecepatan *stacking*. Menurut Riyadi, Praditiyo (2011), koreksi DMO akan menghasilkan *output CDP gather* yang mempunyai kurva horizon yang hiperbolik dan analisis kecepatan yang diturunkan dari *output* tersebut akan menghasilkan kecepatan

yang lebih rendah.



**Gambar 2.4.** Koreksi NMO dengan variasi kecepatan (Sumber: Yilmaz 2001)

Menurut Yilmaz, 2001, terdapat beberapa variasi kecepatan pada koreksi *Normal Move Out* (NMO) jika koreksi dilakukan dengan kecepatan yang tepat (*velocity correct*) maka *event* seismik akan terlihat datar (*flat*), jika kecepatan yang dipakai terlalu rendah maka *event* seismik akan terlihat melengkung ke atas (*overcorrected*), dan jika kecepatan yang dipakai terlalu cepat maka akan terlihat melengkung ke bawah (*undercorrected*) seperti pada Gambar 2.4.

## 2.4 Migrasi

Migrasi adalah suatu proses yang berfungsi untuk menghilangkan efek dari penjalaran gelombang pada data seismik. Data seismik merupakan data hasil perekaman yang dihasilkan sebagai akibat dari penjalaran gelombang yang melalui bawah permukaan. Gambaran yang kita dapatkan melalui proses perekaman, mengalami distorsi sehingga tidak menunjukkan dengan benar gambaran sebenarnya dari geometri struktur bawah permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 2.5 dan pada Gambar 2.6. Pada dimensi kedalaman, reflektor mendatar akan tetap muncul sebagai reflektor mendatar pada dimensi waktu, sementara untuk reflektor miring atau yang memiliki sudut kemiringan akan selalu berada pada posisi yang tidak sebenarnya pada gambaran seismik. Hal ini lah yang menjadi fungsi utama dari migrasi, yaitu untuk mengkoreksi kesalahan posisi ini. Terdapat beberapa macam metode migrasi dalam pengolahan data seismik yaitu: *Kirchoff migration*, *Finite Difference migration*, *Frequency wavenumber migration*, dan *Frequency space migration* (Yilmaz,1987).

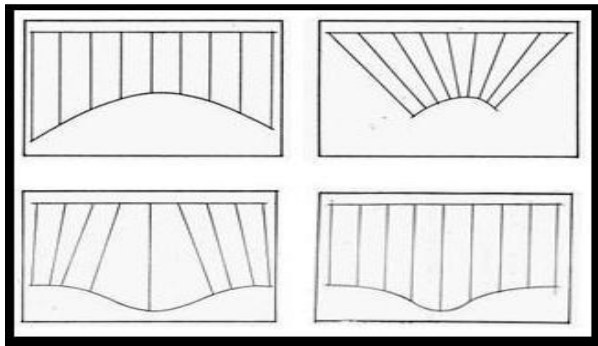
Terdapat dua tipe migrasi yaitu:

1. Migrasi Domain Waktu (*Time Migration*)  
Sebuah migrasi untuk teknik pengolahan data seismik dalam area yang mana perubahan kecepatan lateral tidak terlalu besar, tetapi memiliki struktur yang kompleks. Migrasi dalam domain waktu (*Time Migration*) memiliki efek perpindahan kemiringan terhadap reflektor di sebuah permukaan lintasan seismik dari lokasi permukaan sebenarnya kedalam waktu.
2. Migrasi Domain Kedalaman (*Depth Migration*)  
Sebuah tahapan pengolahan data seismik yang mana reflektor di dalam data seismik mengalami perpindahan ke lokasi yang sebenarnya, mencakup posisi titik-titik penembakan (*shot point*) dalam area dimana terdapat perbedaan secara lateral atau perubahan kecepatan secara vertikal penampang waktu (*time image*) yang

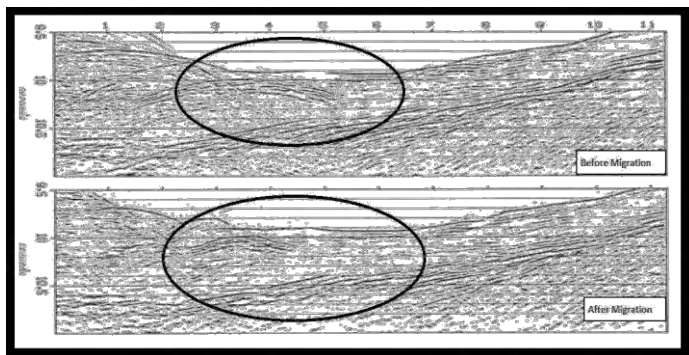


menyimpang. Hal ini memerlukan pengetahuan mengenai keakuratan vertikal dan horizontal terhadap variasi kecepatan gelombang seismik, maka dibagi kedalam beberapa bagian menurut Sroor, M, (2010), antara lain:

- *Pre Stack Depth Migration (PSDM)* : Proses migrasi yang belum dilakukan *stacking*.
- *Post Stack Depth Migration* : Proses migrasi yang telah dilakukan *stacking*.



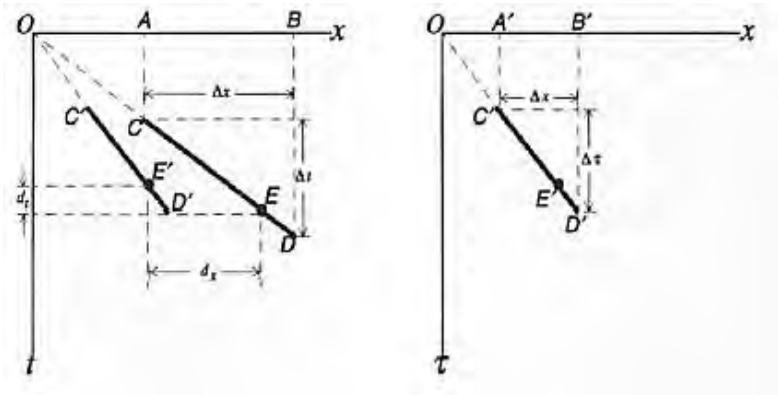
**Gambar 2.5** Proses migrasi yang memindahkan reflektor miring ke posisi yang sebenarnya pada penampang seismik, (kanan) sesudah (kiri) sebelum proses migrasi (Sumber: Primaditaningtyas, 2011)



**Gambar 2.6** Model penampang seismik sebelum dan sesudah dilakukan proses migrasi (Sumber: Sroor, 2010)

Posisi sebenarnya dari suatu reflektor pada dimensi kedalaman akan berbeda dengan posisinya pada dimensi waktu. Tidak hanya posisi secara *lateral* dan *vertical* saja, melainkan juga kemiringan dari reflektor tersebut. Pada proses penjalaran gelombang, proses ini ditandai oleh suatu sinar yang menjalar dari permukaan ke suatu reflektor dibawah permukaan dan sebaliknya. Sinar tersebut selalu digambarkan tegak lurus terhadap reflektornya. Pada dimensi waktu, *event-event* yang berasosiasi dengan *normal rays* di gambarkan memiliki posisi vertical pada posisi dimana sinarnya kembali ke permukaan (posisi penerima). Sehingga hal ini akan menyebabkan waktu tempuh semua reflektor miring akan lebih kecil dari pada yang sebenarnya dan reflektornya akan terlihat lebih panjang.

Pada Gambar 2.7, Proses migrasi menghilangkan efek penjalaran gelombang dari rekaman data seismik dan sebagai hasilnya, event seismik akan berada pada posisi yang sebenarnya dibawah permukaan. Secara umum, migrasi akan membuat sudut kemiringan menjadi lebih curam, event miring menjadi lebih pendek, dan memindahkan event *updip*, sehingga antiklin akan mengecil dan sinklin akan bertambah ukurannya.



**Gambar 2.7.** Simulasi penghilangan efek mispositioning karena reflektor yang miring (Kurniawan, 2011).

$$d_x = \frac{v^2 t}{4} \frac{\Delta t}{\Delta x}, \quad (2.2)$$

$$d_t = t \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{v \Delta t}{2 \Delta x} \right)^2} \right], \quad (2.3)$$

$$\frac{\Delta \tau}{\Delta x} = \frac{\Delta t}{\Delta x} \frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{v \Delta t}{2 \Delta x} \right)^2}}. \quad (2.4)$$

Dengan  $d_x$  adalah perpindahan jarak dari titik E ke titik E'' (termigrasi),  $d_t$  adalah perpindahan waktu dari titik E ke titik E'' (termigrasi),  $v$  adalah kecepatan medium,  $t$  adalah waktu tempuh dalam sekon,  $\Delta x$  adalah selisih jarak dari titik A-B,  $\Delta t$  adalah selisih waktu sebelum dilakukan migrasi dari titik C-D, dan  $\Delta \tau$  adalah selisih waktu setelah dilakukan migrasi (Yilmas, 2001).

## 2.5 Pre Stack Migration

Metode ini untuk struktur yang tidak kompleks, hasil refleksi memiliki kurva hiperbolik dan proses penjumlahan (*stack*) berjalan dengan baik, untuk struktur yang sebaliknya, memiliki kompleksitas, proses penjumlahan bisa mengakibatkan pengurangan data-data yang berharga. Pada hal ini migrasi sangat diperlukan, Sehingga sangat di sarankan melakukan migrasi sebelum dilakukan *stacking*. Migrasi energi akan lebih terfokuskan dan *stack* input lebih jelas dan mudah dimengerti. Selain itu, event berada pada posisi yang sebenarnya sehingga hal ini dapat membantu pada proses *stacking*. Migrasi *pre stack* ini pada domain kedalaman dapat mengatasi moveout yang tidak memenuhi kurva hiperbolik yang sangat mempengaruhi hasil kualitas dari migrasi *pre stack*.

Migrasi *pre stack* dilakukan sebelum proses NMO dan *stack*. Pada proses ini bertujuan untuk mengkoreksi *lateral miss positioning* dari event refleksi sekaligus melakukan proses *move out*, karena migrasi mengaplikasikan koreksi *move out*. Migrasi ini sangat sensitif terhadap akurasi model kecepatan. Walaupun tidak digunakan untuk melakukan analisis kecepatan. Hal ini menjadikan migrasi waktu *pre stack* sebagai suatu metode untuk mendapatkan kecepatan RMS yang sebenarnya, dan migrasi kedalaman *pre stack* menjadi metode untuk mendapatkan kecepatan interval.

Menurut Kurniawan, 2011, analisis kecepatan migrasi dilakukan pada posisi migrasi yang sudah terkoreksi posisinya, mengakibatkan peningkatan rasio S/N karena energinya yang sudah terfokuskan. Analisis kecepatan setelah migrasi tidak *terinterferensi* oleh energy difraksi yang sudah dihilangkan pada saat migrasi.

## 2.6 Pre Stack Time Migration (PSTM)

*Pre Stack Time Migration* (PSTM) merupakan teknik migrasi data seismik yang diterapkan sebelum proses *stacking*. Dibandingkan dengan *Post Stack Time Migration*, *Pre Stack Time Migration* memberikan hasil yang lebih baik terutama untuk

pencitraan struktur yang cukup kompleks seperti *conflicting dips structure* dan pengurangan energi dari titik refleksi akibat *side swipe*. Menurut Pandhu Prakoso (2009), metodologi yang biasa diterapkan untuk melakukan PSTM adalah: **pertama**, melakukan Konvolusi dengan *elliptical impulse response* seperti pada Gambar 2.8 berdasarkan persamaan ellips pada 2.1 sehingga menghasilkan *elliptical impulse* pada domain offset, **kedua** melakukan penjumlahan disepanjang *diffraction response curve* (Kirchhoff Migration). Untuk metodologi yang pertama, data seismik disortir kedalam domain *common-offset*. Selanjutnya data tersebut dikonvolusikan dengan *elliptical impulse*, dikarenakan PSTM biasanya memiliki variasi kecepatan yang *smooth*, maka *residual NMO correction* diterapkan setelah NMO yang utama.

*Elliptical impulse response* dibangun berdasarkan persamaan *ellips* sbb:

$$\frac{x^2}{L^2} + \frac{z^2}{d^2} = 1$$

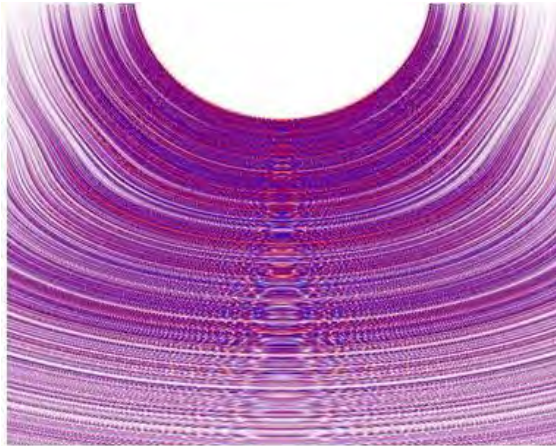
$$L^2 = h^2 + d^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$h = \text{offset}/2$ ,

$L = T/2$ ,  $z$  adalah kedalaman  $= V \cdot T/2$ ,

$x$ =offset,  $T$ =waktu (TWT).



**Gambar 2.8** *Elliptical impulse response* yang merupakan fungsi dari kecepatan *offset* dan kedalaman.

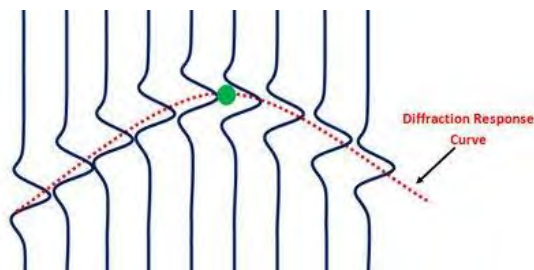
Cara yang kedua untuk PSTM adalah dengan melakukan penjumlahan disepanjang *diffraction response curve* (Kirchhoff Migration). *Diffraction response curve* dapat dibangun berdasarkan persamaan berikut ini:

$$T = \frac{\left( \sqrt{(y-h)^2 + z^2} + \sqrt{(y+h)^2 + z^2} \right)}{V} \dots\dots(2.6)$$

Dimana  $T$  adalah waktu tempuh TWT,  $z$  adalah kedalaman,  $z=V \cdot T_o/2$ ,  $h$  adalah offset/2,  $y$  adalah *aperture*,  $z$  kedalaman dan  $V$  adalah kecepatan RMS atau Rata-rata,  $T_o$  adalah waktu pada kecepatan  $V$  (Pandhu Prakoso, 2009). Dimana nilai  $V_{rms}$  tersebut diperoleh dari rata-rata kuadrat kecepatan menurut Praditiyo Riyadi, 2011 berdasarkan persamaan berikut ini.

$$V_{rms} = \left\{ \frac{\sum (v_i^2 \cdot t_i)}{\sum t_i} \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.7)$$

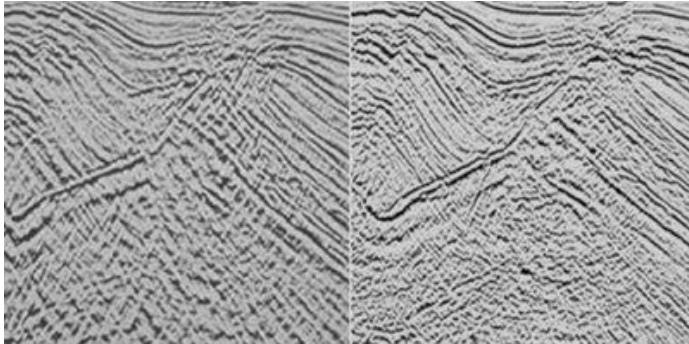
Dimana  $V_i$  merupakan kecepatan di setiap lapisan  $i$ . Sedangkan  $t_i$  merupakan waktu tempuh tiap lapisan. Gambar di bawah ini menunjukkan *diffraction response curve* (kurva merah putus-putus) yang dibangun berdasarkan persamaan 2.2. PSTM dengan teknik ini hanyalah penjumlahan disepanjang kurva merah tersebut. Penjumlahan dari sinyal akan saling menguatkan (*constructive*), sedangkan penjumlahan dari noise akan saling menghilangkan (*destructive*), sehingga difraksi yang disebabkan oleh titik hijau (tengah) akan dikembalikan seperti keadaan sesungguhnya seperti yang terlihat pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Kurva difraksi

Untuk data seismik 3D, flow yang biasanya digunakan untuk melakukan PSTM adalah sbb: Data dalam CMP gather (biasanya dalam *inline order*), selanjutnya data disorting menjadi domain *common-offset*, dengan menggunakan kecepatan PSTM ( $V$ -average atau  $V_{rms}$ ), Penerapan PSTM dengan dua metodologi di atas, NMO yang dilakukan secara simultan, sorting kembali kedalam *CMP order residual NMO correction* (karena variasi kecepatan lateral yang *smooth*), Stack.

Pada Gambar 2.10, menunjukkan perbandingan *Post Stack Time Migration* (kiri) dan *Pre Stack Time Migration* (Kanan). Pada penampang PSTM, reflektor-reflektor serta sesar dapat dicitrakan dengan lebih baik.



**Gambar 2.10.** Gambar penampang bawah permukaan (*Courtesy of Schlumberger*)

Menurut yilmaz, 2001, Berbagai kondisi bawah permukaan yang beragam menyebabkan beberapa teknik atau jenis migrasi yang digunakan dalam pengolahan data seismik berbeda-beda.

## **2.7 Pre Stack Depth Migration (PSDM)**

*Pre Stack Depth Migration* (PSDM) merupakan teknik migrasi sebelum *stack* dengan variasi kecepatan medium sangat kompleks seperti *thrust belt*, zona di sekitar karbonat (*reef*), kubah garam (*salt dome*), dan sebagainya. Yang membedakan *time migration* dan *depth migration* bukan karena masalah domain waktu atau domain kedalaman tetapi model kecepatan yang digunakan. *Time migration* memiliki variasi kecepatan yang *smooth* dan *depth migration* memiliki kecepatan yang kompleks, terdapat beberapa perbedaan dari penampang *subsurface* yang dihasilkan dengan menggunakan metode *time migration* dengan *depth migration* seperti yang terlihat pada Gambar 2.11,

kedalaman adalah untuk pembanding model geologi dalam pembuatan model kecepatan. Dari perspektif geofisika, ada empat



alasan *pre stack depth migration* digunakan untuk meningkatkan pencitraan:

**a) Posisi vertikal** - Keuntungan pertama bahwa jika kecepatan yang diketahui cukup akurat, hasil pencitraan yang diperoleh bebas dari distorsi struktur yang berhubungan terhadap variasi kecepatan lateral.

**b) Posisi lateral** - Keuntungan kedua yang diperoleh jika kecepatan yang diketahui cukup akurat, event yang tampak akan ditempatkan pada posisi lateral yang tepat.

**c) Resolusi** – Keuntungan yang ketiga, pada praktiknya migrasi ini memberikan resolusi pencitraan lebih tinggi daripada *time imaging*. Lebih tingginya resolusi yang dihasilkan karena pencitraannya tidak bergantung pada asumsi *hyperbolic moveout* tidak seperti pada *time imaging*. Meningkatnya resolusi ini tidak berhubungan dengan meningkatnya posisi dari event tersebut.

**d) Estimasi kecepatan dan kedalaman**- keuntungan sebelumnya dapat tercapai jika model kecepatan intervalnya benar. Keuntungan yang lain yaitu migrasi ini menyediakan diagnosanya sendiri dari model kecepatan. Ketika refleksi pada *depth gather* (hasil dari PSDM) lurus, artinya model kecepatan interval yang digunakan sudah benar (Fagin, 2002).

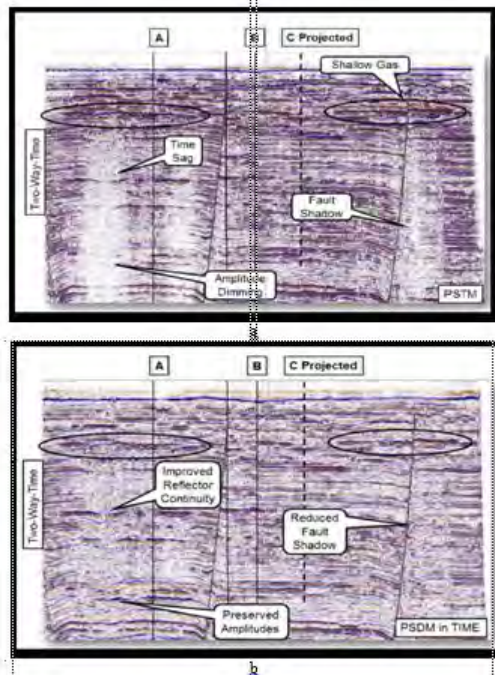
Kecepatan interval atau Vint (*interval velocity*) adalah laju rata-rata antara dua titik yang diukur tegak lurus terhadap kecepatan lapisan yang dianggap sejajar, ditulis sebagai:

$$Vn^2 = \frac{(\tau_n v_{n^2}) - (\tau_{n-1} v_{n-1^2})}{(\tau_n) - (\tau_{n-1})} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan  $V_n$  adalah kecepatan interval tiap lapisan yang dibatasi oleh lapisan  $(n-1)$  dan lapisan  $n$ ,  $\tau_n$  dan  $\tau_{n-1}$  adalah waktu tempuh dua arah untuk data *zero-offset*, serta  $V_n$  dan  $V_{n-1}$  adalah kecepatan RMS yang terkait dengan tiap lapisan.

*Ray tracing* adalah cara paling sederhana dan akurat untuk mentransformasi informasi horizon dari domain satu ke domain yang lain. Masukan berupa model bumi dan keluaran merupakan waktu tiba dan hasil hubungan hasil perekaman dan titik pantul.

Menurut Fagin (2002), Tujuan utama dari *ray tracing* ini untuk menemukan *raypath* dari sumber gelombang kemudian gelombang merambat ke bawah permukaan kemudian dipantulkan dan merambat ke atas dan diterima oleh penerima.



**Gambar 2.11** Penampang seismik dari kedua metode pengolahan data seismik (a) data seismik tahun 2006 metode PSTM *random line* (b) data seismik tahun 2010 metode PSDM *random line*, metode PSDM masih dalam domain waktu  
(Sumber: Loic Michel and Chee Hau Hoo, Hampson Russell, and Mark.J. Flynn, *International Petroleum Technology Center.*, 14817., 2011)

## 2.8 Common Reflection Angle Migration (CRAM)

*Common Reflection Angle Migration* (CRAM) merupakan migrasi *multi-arrival*, migrasi yang bekerja berdasarkan *ray*

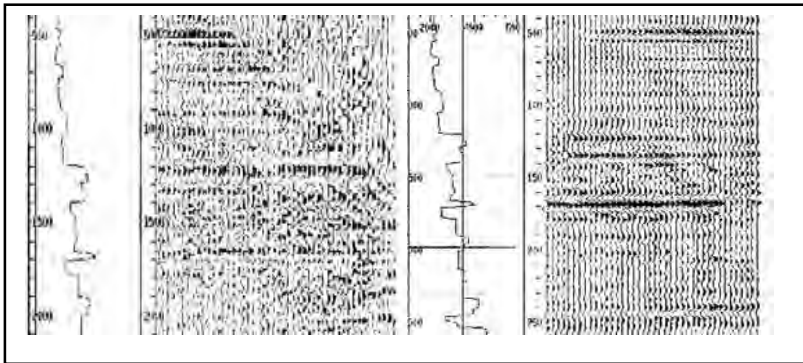
*tracing*, menggunakan seluruh bagian gelombang dalam *aperture* yang terkontrol sehingga memberikan hasil gather yang lebih flat karena metode ini memiliki nilai kecepatan yang tepat (*velocity correct*) seperti pada Gambar 2.12 terlihat gather yang lebih flat pada hasil dari metode CRAM dibandingkan metode konvensional domain offset. Pada metode ini, *ray tracing* dilakukan dari titik *imaging* (dari segala arah, termasuk *turning rays*) naik menuju permukaan, membentuk suatu system yang berfungsi memetakan rekaman data seismik dipermukaan menjadi sesuatu yang dikenal sebagai *Local Angle Domain* (LAD) pada titik *imaging* (Koren et al, 2007). Prosedur ini bekerja berdasarkan iluminasi yang uniform dari segala arah pada titik *image*, memastikan bahwa semua sinar datang akan menjadi bahan perhitungan sementara amplitude sebenarnya.

CRAM secara khusus di desain untuk melakukan seismik *imaging* dan analisis dalam jumlah banyak, menentukan model kecepatan yang mendetail, orientasi pada target, *imaging reservoir* dengan resolusi tinggi, AVA yang akurat dan ekstraksi *property reservoir*, serta *imaging* data yang direkam di daerah dengan struktur dan kecepatan yang komplek.

Migrasi CRAM seperti yang sudah disebutkan diatas memiliki banyak manfaat. CRAM bisa dilakukan pada data *full volume* dan *full aperture*, akan tetapi proses ini membutuhkan *cluster* dengan jumlah node yang sangat banyak. CRAM Bisa dilakukan pada area tertentu dengan latar belakang informasi kemiringan dan azimuth, dengan bantuan *aperture* yang sudah di modelkan, membuat penyelesaiannya relatif lebih cepat dan berkualitas tinggi dengan resolusi yang sangat baik (Dean K. Clark, et al, 2010).

CRAM bekerja berdasarkan pendekatan *Local Angle Domain* (LAD) pada model bawah permukaan yang medianya dapat bersifat *isotropy* maupun *anisotropy*. Migrasi *asymptotic* atau operator inverse, termasuk didalamnya *ray path*, waktu tempuh, penyebaran geometrid dan faktor rotasi fase (KMAH indek).

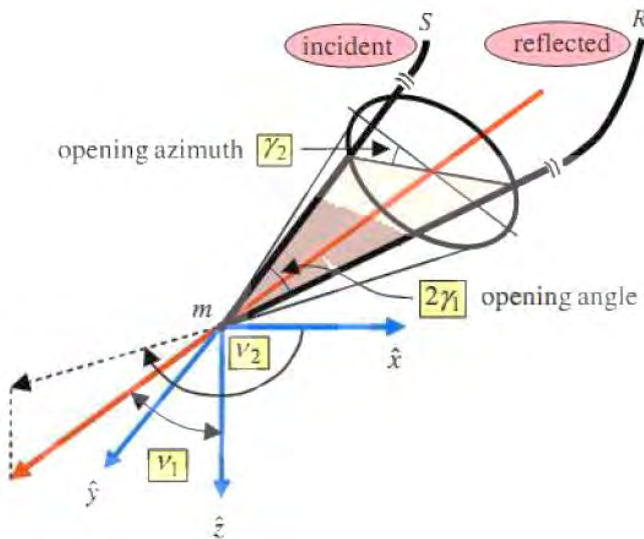
Semuanya dihitung mulai dari titik image naik menuju ke permukaan.



**Gambar 2.12.** *CRP gather* hasil migrasi dimensi kedalaman dengan menggunakan metode *CRAM* (kanan) (*velocity correct*) dan metode *konvensional domain offset* (kiri) (*uncorrected*)

Sistem *imaging* melibatkan interaksi dari 2 *wavefields* pada titik *image*, yaitu komponen normal *incident* dan refleksi/difraksi. Tiap *wavefield* dapat di dekomposisikan menjadi gelombang bidang lokal lebih tepatnya di gambarkan sebagai sinar, yang mengindikasikan arah penjalaran. Arah dari *incident* dan penyebaran sinar (*scattered ray*) secara konvensional mendeskripsikan sudut polaritasnya. Setiap sudut polar memiliki 2 komponen, yaitu kemiringan dan *azimuth*. Sehingga dibutuhkan 4 skalar sudut untuk mendefinisikan system dimensi sudut pada setiap titik *image*. Migrasi dimensi sudut yang menggunakan persamaan gelombang dan *ray tracing*, akan berhadapan dengan system sudut dimana keduanya, *incident* dan refleksi *wavefield* pada setiap titik *image* tersusun dari variasi arah dengan batasan yang lebar. Tahapan *imaging* melibatkan pengkombinasian jumlah pasangan sinar yang sangat besar (pasangan gelombang bidang lokal), mempresentasikan *incident* dan refleksi/difraksi. Setiap pasangan sinar memetakan rekaman data seismik dipermukaan

yang bebas, menjadi dimensi 4D *Local Angle Domain* (LAD) (Koren et al ,2007) dalam Kurniawan Adhiputra (2011). Dituliskan sebagai kemiringan  $V_1$  dan azimuth  $V_2$  dari pasangan normal *incident*, setengah sudut bukaan  $\gamma_1$  dan *azimuth* bukaan  $\gamma_2$ . Dapat menurunkan hubungan antara arah pasangan sinar dengan sudut *Local Angle Domain* seperti yang terlihat pada Gambar 2.13.



**Gambar 2.13.** Pasangan sinar (*incident* dan *scattered*) pada titik M dibawah permukaan dan 4 sudut yang berasosiasi dengan *Local Angle Domain*.(Koren et al, 2007 dalam Kurniawan 2011)

Pada gambar tersebut menunjukkan contoh hubungan dari pasangan sinar (*incident* dan *scattered*) dan 4 sudut yang berasosiasi dengan *Local Angle Domain* (LAD). Sistem *Local Angle Domain* (LAD) memiliki kemungkinan untuk berasosiasi dengan sumbu *cross section* dari permukaan kerucut. Sumbu dari kerucut dengan pasangan sinar normal *incident* memiliki orientasi

yang sama (kemiringan dan *azimuth*). Bukan dari sudut sama dengan bukan sudut dan orientasi dari *cross section* berkorespondensi dengan *azimuth* bukan.

## 2.9 Formula Migrasi CRAM

Metode *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) berdasarkan pendekatan *Local Angle Domain* (LAD) pada model bawah permukaan baik pada *isotropy* maupun *anisotropy*. *Imaging* dengan metode ini melibatkan 2 gelombang permukaan (*wavefield*) yakni: normal incident, dan refleksi atau difraksi. Dimana kedua *wavefield* ini merupakan sinar yang mengindikasikan arah penjelasan merepresentasikan permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 2.13. Pada normal incident ini mendeskripsikan sudut polaritasnya, di setiap sudut polar memiliki 2 komponen yakni: kemiringan ( $V1$ ) *zenith*, dan *azimuth* ( $V2$ ).

$$Iv(m, v1, v2) = \frac{\cos^2 v1}{V^2(m)} \int \frac{D3(S, R, \tau D)}{A(m, S) A(m, R)} \sin \gamma1 d\gamma1 d\gamma2 \dots \dots (2.9)$$

Pada subsistem refleksi revlektiviti pada titik *image* berfungsi sebagai pasangan sinar normal sudut bukan  $\gamma1$  dan bukan azimuth  $\gamma2$ .

$$I\tau(m, \gamma1, \gamma2) = \frac{\cos^2 \gamma1}{V^2(m)} \int \frac{D3(S, R, \tau D)}{A(m, S) A(m, R)} \sin V1 dV1 dV2 \dots \dots (2.10)$$

Dimana,

$S = S(m, V1, V2, \gamma1, \gamma2)$ , dan  $R = R(m, V1, V2, \gamma1, \gamma2)$

Merupakan lokasi sumber dan penerima dipermukaan. Koordinat ini didapatkan melalui *ray tracing* yang dimulai pada titik *image*, dengan parameter sinar awal (kecepatan fase) yang berhubungan dengan sudut LAD (pendekatan *output-driven*) dengan parameter:

$$A(m, S) = \sqrt{\frac{V(m)}{8\pi |J(m, S)|}} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$A(m, R) = \sqrt{\frac{V(m)}{8\pi |J(m, R)|}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Merupakan fungsi Green,

$$D_3 [S, R, \tau D(m, S, R)] = \int i w U(S, R, w)^{i\phi_3} dw \dots\dots\dots (2.13)$$

Merupakan data hasil filter

$$\phi_3 = -w \tau D(m, S, R) + \pi/2 k(m, S, R) \operatorname{sgn}(w) \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana,

$U(S, R, W)$  = tras seismik masukan

$K(m, S, R)$  = KMAH indeks (amplitude turunan ke 2 dari *travel time*)

$\tau D(m, S, R)$  = stack difraksi dimensi waktu

$V(m)$  = fungsi dari parameter medium

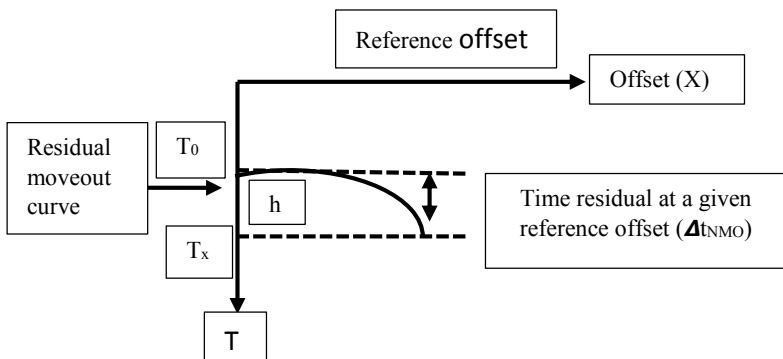
$J$  = penyebaran geometri (struktur)

Ada fasenya  $U(S, R, w)$  merupakan tras seismik masukan  $K(m, S, R)$  merupakan KMAH indeks,  $\tau D(m, S, R)$  merupakan stack difraksi dimensi waktu  $V(m)$  merupakan fungsi dari parameter medium. Dalam kasus ini model *isotropic* bersesuaian dengan model kecepatan  $J$ , merupakan penyebaran geometri persamaan (1) (2) mendeskripsikan pendekatan *output driven*, dimana data masukan seismik akan dimigrasikan menjadi fungsi sudut LAD pada titik *image*. Sehingga, secara teori, setiap pasangan sinar digunakan dalam migrasi membutuhkan kebebasan untuk menggunakan tras seismik manapun. Akses yang tidak beraturan pada data input membuat implementasinya prosesnya sangat sulit. Pendekatan ini membutuhkan memori yang sangat besar untuk menyimpan data masukan (Zvi Koren, Igor Ravve, Evgeny Ragoza, Allon Bartana, Paradigm Geophysical, Dan Kosloff, Tel Aviv University and Paradigm Geophysical).

## 2.10 Update Model kecepatan

### a) Analisis *residual moveout*

Analisis kecepatan yang dilakukan karena pemodelan kecepatan sebelumnya belum tepat. Kecepatan yang belum tepat disini dapat dilihat pada hasil *gather* yang belum lurus, masih terdapat *gather* yang melengkung keatas maupun ke bawah karena kecepatannya masih terlalu rendah ataupun terlalu tinggi. Untuk itu perlu dilakukan analisis *residual moveout* agar menghasilkan *gather* yang lebih lurus. Dengan menggunakan metode *semblance* untuk melakukan residual moveout. Ketika *semblance* tidak berada pada *zero depth-error* artinya masih terdapat kesalahan dalam penentuan kecepatan seperti pada Gambar 2.14.



**Gambar 2.14.** Konsep *Time residual*

Menurut Thariq Guntoro, (2014), *Time residual* merupakan pengukuran *moveout* yang masih tersisa pada events refleksi setelah dilakukan koreksi NMO atau setelah migrasi. Ketika model kecepatan yang digunakan tidak tepat, maka events refleksi tidak lurus. Kesalahan ini dihitung dari perbedaan waktu di lokasi events refleksi terhadap *offset* (*near offset* dan *far offset*). Biasanya *far offset* digunakan untuk mengukur sisanya (*residual*).



Residual *moveout* positif mengindikasikan bahwa kecepatan yang digunakan masih terlalu tinggi, begitu juga sebaliknya.

Menurut Yilmaz, 2001, koreksi ini akan menghasilkan efek penurunan frekuensi gelombang seismik. Perlu dilakukan langkah muting untuk menghilangkan efek ini:

$$\Delta t_{\text{NMO}} = t(h) - t_0 = t_0 \left[ 1 + \left( \frac{2h}{vt_0} \right)^2 - 1 \right]$$

$$t(h) = (t_0^2 + \left( \frac{2h}{vt_0} \right)^2)^{1/2}$$

Sehingga diperoleh,

$$\begin{aligned} \Delta t_{\text{NMO}} &= t(h) - t_0 \\ &= (t_0^2 + \left( \frac{2h}{vt_0} \right)^2)^{1/2} - t_0 \\ &= \{ [t_0 (1 + \left( \frac{2h}{vt_0} \right)^2)^{1/2} - t_0] \} \\ &= t_0 \{ [1 + \left( \frac{2h}{vt_0} \right)^2]^{1/2} - 1 \} \dots\dots\dots(2.15) \end{aligned}$$

#### b) Model *Horizon Based Depth Tomography*

Model kecepatan awal yang diperoleh dari *transformasi interval velocity* digunakan untuk melakukan proses *pre stack depth migrate/on* (PSDM). Pendekatan *layer stripping* dalam *transformasi interval velocity* seringkali menghasilkan akumulasi *error* pada lapisan yang lebih dalam bila pada lapisan di atasnya tidak tepat, sehingga akan menghasilkan *error* waktu tempuh. Untuk itu dilakukan perbaikan (*refining*) model secara iteratif yang disebut global tomografi, karena perubahan parameter model kecepatan dan kedalaman dilakukan secara simultan tidak berdasarkan pendekatan *layer stripping*. Pada studi yang telah dilakukan biasa digunakan *horizon based depth tomography* dimana model kecepatan interval dari *transformasi interval velocity* dan residual *moveout* CRP *depth gather* sebagai data masukannya. Model kedalaman diperbaiki secara iteratif dengan memodifikasi *interface* kedalaman dan kecepatan lapisan untuk membuat *gather* menjadi datar. Dengan *ray tracing*, *error* dari tiap lapisan digunakan untuk membuat matriks tomografi sepanjang lintasan gelombang. *Error* dari tiap lapisan diselesaikan secara simultan menggunakan metode *least square* untuk meminimalisasi

kesalahan waktu tempuh yang melewati seluruh model (Mualimin dkk,2004).

Parameter struktur pada model dapat di deskripsikan melalui fungsi di bawah ini:

$$H_i(x, z) = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

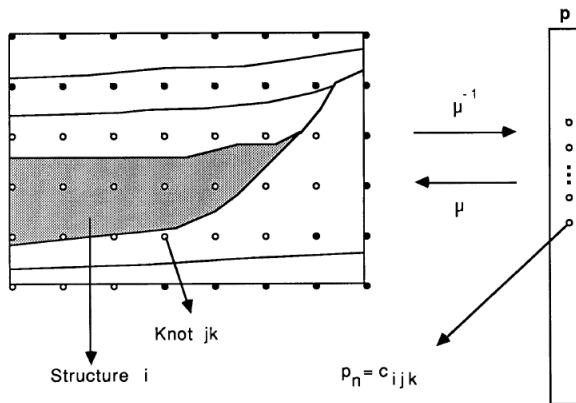
Dimana  $(x, z)$  terletak pada struktur  $i(i=1, NS+1)$  dimana  $NS$  merupakan nomor struktur yang teridentifikasi pada hasil presentasi, sedangkan  $NS+1$  merupakan *fuzzy boundaries* atau batas kabur.

Hubungan antara *slowness* dan *traveltime* akan memperbaiki kelinieran dibandingkan hubungan antara *velocity* dan *traveltime*. Dimana *slowness* dapat dihitung dengan persamaan,

$$W(x,z) = \sum_{i=1}^{NS+1} \sum_{j=1}^{N_x} \sum_{k=1}^{N_z} C_{ijk} H_i(x,z) F_j(x) G_k(z) \dots (2.16)$$

$N_x$  dan  $N_s$  : nomor knots spline pada arah  $x$  dan  $z$

$F_j$  dan  $G_k$  : fungsi spline pada knots ke  $j$  arah  $x$  dan fungsi spline pada knots ke  $k$  arah  $z$  seperti pada Gambar 2.15.



**Gambar 2.15.** Mapping struktur pada persamaan 2.16

dengan  $H_i(x,z)$  digunakan untuk peta koefisien  $C_{ijk}$  pada parameter vector  $P$

$$P_n = C_{\mu(n)}, \text{ dimana } n = 1, N,$$

$$\begin{cases} \mu(n) = ijk \\ \mu^{-1} ijk = n \end{cases}$$

Dimana,  $ijk = H_i(x,z) = 1 \wedge F_j(x) G_k(z)$  tidak sama dengan 0

*Travel time* pada *ray* dapat digambarkan sebagai integral *slowness* di sepanjang jalur,

$$T_m = \int_0^{sm} w(X(s), Z(s)) ds \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana,

$S$  = panjang busur lintasan

$m$  = indeks ray

$S_m$  = total panjang lintasan pada ray  $m$

Kemudian di substitusikan ke persamaan *slowness* 2.16 sehingga,

$T_m =$

$$\int_0^{sm} \sum_{i=1}^{Ns+1} \sum_{j=1}^{Nx} \sum_{k=1}^{Nz} C_{ijk} H_i(X(s), Z(s)) F_j(X(s)) G_k(Z(s)) ds \dots \dots \dots (2.18)$$

$=$

$$\sum_{i=1}^{Ns+1} \sum_{j=1}^{Nx} \sum_{k=1}^{Nz} C_{ijk} \int_0^{sm} H_i(X(s), Z(s)) F_j(X(s)) G_k(Z(s)) ds \dots \dots \dots (2.19)$$

$$= \sum_{i=1}^{Ns+1} \sum_{j=1}^{Nx} \sum_{k=1}^{Nz} C_{ijk} \int_0^{sm} L_{ijk, m}(s) ds \dots \dots \dots (2.20)$$

$$= \sum P_n L, m \dots \dots \dots (2.21)$$

$$= L \Delta P \dots \dots \dots (2.22)$$

$$\Delta t = L \Delta P \dots \dots \dots (2.23)$$

$$\Delta P = \frac{\Delta t}{L} \dots \dots \dots (2.24)$$

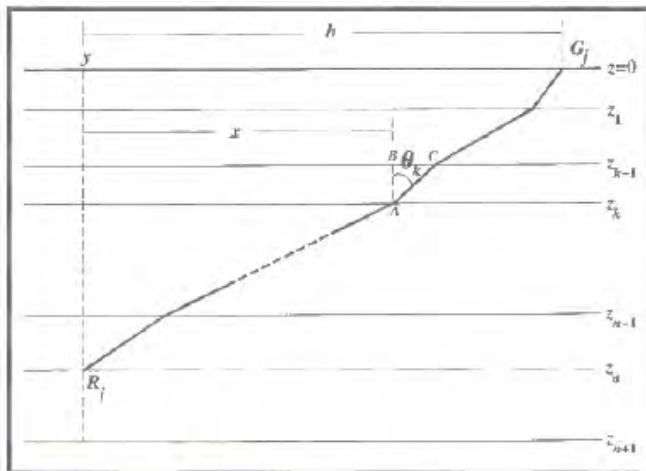
$$\Delta P = (L^T L)^{-1} L^T \Delta t \dots \dots \dots (2.25)$$

Dengan demikian, model *based tomography* digunakan dengan prinsip mengoreksi kecepatan dari hasil residual *moveout*

dan *ray tracing* pada model kecepatan. Masukan pada metode ini adalah *depth gather* untuk meng-*update* kecepatan interval dengan membuat *semblance* residual sepanjang horizon. Model *based tomography* digunakan untuk mencari nilai *error* kecepatan dan meng-*upgrade* kecepatan menjadi kecepatan yang benar. *Update* tomografi ( $\Delta p$ ) ke parameter model, yaitu perubahan pada *slowness* ( $s$ ) dan kedalaman batas lapisan ( $z$ ), dihasilkan dengan persamaan inversi linier (*Generalized Linier Inversion/GLI*). Berikut ini adalah persamaannya :

$$\Delta p = (L^T L)^{-1} L^T \Delta t \dots \dots \dots (2.26)$$

$\Delta t$  adalah kolom vektor residual moveout times yang dihitung dari *image gathers*.  $L$  adalah matriks acak yang elemennya terdiri dari *slowness* dan kedalaman yaitu parameter pada model awal.  $T$  merupakan matriks *transpose*.



**Gambar 2.16.** Geometri *nonzero-offset ray* untuk membangun teori tomografi waktu tempuh refleksi (Yilmaz, 2001)

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.16 terdapat variasi nilai kecepatan berdasarkan kedalaman atau di setiap layer. Untuk

mendapatkan struktur bawah permukaan yang sesuai dengan struktur geologi yang sebenarnya, maka perlu dilakukan iterasi pada pemodelan kecepatan sampai di peroleh model kecepatan yang tepat. Prosedur untuk model *update based tomography* yaitu:

- Lakukan PSDM menggunakan model awal dan hasilkan *depth gathers*.
- Komputasikan residual moveout untuk semua *offset* sepanjang event refleksi pada *depth gather*. Maka kita telah membuat vektor *travel time error* ( $\Delta t$ ). Misal, model kecepatan terdiri dari 10 lapisan, 1000 CMP dengan 30 *fold*. Artinya panjang vektor *traveltime error* 300000.
- Definisikan model awal dengan suatu set parameter slowness dan kedalaman, dan buat koefisien matriks L dengan mengkomputasikan elemen matrik tak nol  $Z_m$  dan  $S_m$  seperti pada persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 ZZ_{mm} &= (zz_{mm} - z_{mm} - 1) \sec^2 \theta_{mm} \\
 SS_{mm} &= ss_{mm} \cos^2 \theta_{mm} - ss_{mm} + 1 \cos^2 \theta_{mm} + 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix} \Delta t'_n = \begin{pmatrix} \cdots & Z_m & \cdots & S_m & \cdots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta s_m \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2.27)$$

Notasi matriksnya sebagai berikut:

$$\Delta t' = L \Delta p \dots\dots\dots (2.28)$$

Jika terdapat 10 lapisan dan setiap lapisan didefinisikan oleh 50 pasang *slowness* dan kedalaman pada arah lateral, artinya jumlah parameter modelnya sebanyak 1000 parameter. Jika dilihat dari jumlah data sebanyak 300000 persamaan untuk mendapatkan parameter model sebanyak 1000 parameter, maka solusi inversi ini adalah inversi *overdetermined*.

d) Estimasi perubahan vektor parameter  $\Delta p$  dengan persamaan inversi linier di atas.

e) Perbaharui vektor parameter  $p + \Delta p$ .

Proses ini dilakukan secara iteratif untuk meminimalkan perbedaan waktu tempuh model dengan waktu tempuh sebenarnya (Thariq Guntoro, 2014).

## 2.11 *Constrained Velocity Inversion (CVI)*

*Constrained Velocity Inversion (CVI)* merupakan parameter *velocity modeling* untuk menghasilkan kecepatan *interval* yang mendekati kecepatan sebenarnya. Dengan metode CVI *velocity modeling* yang dihasilkan lebih *smooth*, lebih bagus, dan lebih mendetail untuk hasil penampangnya. Metode CVI menghitung kecepatan di setiap horizon sehingga dari metode *transformasi* CVI ini menghasilkan penampang yang lebih mendetail untuk setiap horizonnya terdapat pada Paradigm (2015). Metode *constrained velocity interval (CVI)* menentukan *interval velocity* dari hasil *pick* kecepatan *stacking* yang biasanya sebagai fungsi *two way travel time (TWT)* dengan fungsi kecepatan interval yang terbatas dan lebih *smooth*. *Damped least squares* digunakan untuk meminimalisir nilai *error* pada kecepatan hasil *picking* sehingga akan diperoleh hasil model awal kecepatan interval yang lebih stabil dan lebih *smooth* (S.W.Fagin, U. Egozi, 1998).

Pada kecepatan RMS, hanya menghasilkan *interval velocity* pada *top and bottom* secara local dimana kecepatan pada setiap *horizon* dianggap konstan sesuai dengan kedalaman (Hurbal and Krey, 1980). Landa et al (1991) mempelajari mengenai ketidakpastian *interval velocity* dan estimasi kedalaman pada keseluruhan horizon, menghitung nilai error pada kecepatan local yang dihasilkan oleh kecepatan RMS, hal ini sangat mempengaruhi hasil penampang dengan metode yang menggunakan kecepatan RMS karena perhitungan dilakukan untuk lapisan secara keseluruhan. Keakuratan menggunakan *interval velocity*

merupakan estimasi kecepatan yang lebih akurat dan merupakan teknik *imaging* pada *time and depth migration and inversion*. Dengan menggunakan persamaan *velocity inversion*.

$$\Delta t_n = t_n - (t_{n-1}) \dots \dots \dots (2.29)$$

$$W_n = V_{2,n}^2 \cdot t_n - V_{n,n-1} \cdot t_{n-1} \dots \dots \dots (2.30)$$

$$U_n^{\text{Data}} = \sqrt{\frac{W_n}{\Delta t_n}} \dots \dots \dots (2.31)$$

Dimana,  $W_n$  merupakan  $W$  data yg diperoleh pada saat pengambilan data velocity awal. Distribusi linear domain *depth* kecepatan rata-rata lokal,

$$U_n^{\text{Lint}}(V_{a,n}, V_{b,n}) = \sqrt{\frac{V_{b,n}^2 - V_{a,n}^2}{2 \ln \frac{V_{b,n}}{V_{a,n}}}} \dots \dots \dots (2.32)$$

Dimana nilai node *instantaneous velocities*:

$V_{0,0}, V_{0,1}, V_{0,2}, V_{0,3}, \dots, V_{0,N}$ , dan  $N$  merupakan lapisan di setiap *horizon*.

Inversi kecepatan sesaat,

$$B = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \int_0^n \{V_{0,n}^{\text{Lint}} - V_0^{\text{Trend}}(t_{n-1} + \tau)\}^2 d\tau \dots \dots (2.33)$$

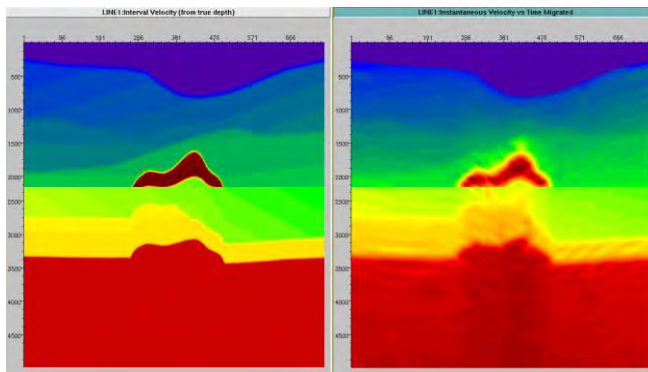
$$\text{Dengan } V_0^{\text{Trend}}(t) = V_0^{\text{Exp}}(t) = \frac{V_a \cdot V_{\sim}}{V_a + \Delta V \cdot \text{Exp}\left(\frac{-K a t \cdot V_{\sim}}{\Delta V}\right)} \dots \dots \dots (2.34)$$

$V_0^{\text{Exp}}(t) = V_{\sim} \{1 - \text{Exp}\left(\frac{-K a t}{\Delta V}\right)\}$ ,  $V_{\sim}$  merupakan Asimtot *velocity* domain *depth*.

Sehingga,

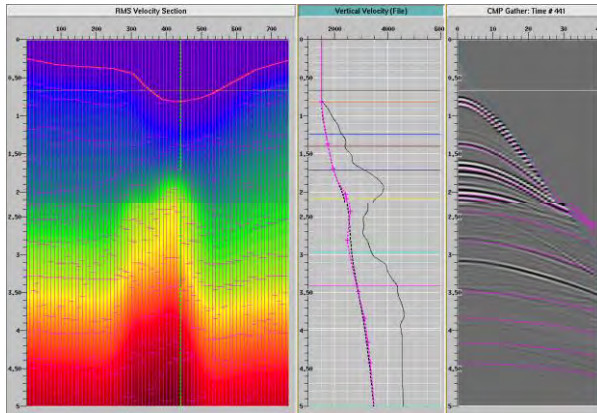
$$C = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \Delta t_n \cdot W_n \{U_n^{\text{Lint}}(V_{0,n-1}, V_{0,n}) - U_n^{\text{Data}}\}^2 \dots \dots \dots (2.35)$$

*Constrained Velocity Inversion* (CVI) ini dapat mengkonversikan kecepatan RMS menjadi kecepatan interval dengan meminimalisir nilai *error* pada kecepatan di setiap horizon yang memiliki variasi kecepatan masing-masing (Ravve and Koren ,2004-2005). *Velocity Inversion* melakukan fungsi vertical secara individually dalam arti di setiap *layer* dilakukan perhitungan nilai kecepatan sehingga menghasilkan nilai kecepatan lateral yang mendekati kecepatan sebenarnya (Zvi koren and I gor Ravve, Paradigm Geophysical, 2004). Seperti yang terlihat pada Gambar 2.17 dan Gambar 2.18 bahwa pada masing-masing *layer* memiliki variasi nilai kecepatan. Terlihat perbedaan antara *velocity model from depth* dengan *velocity interval*.



**Gambar 2.17.** Gambar kiri merupakan *instantaneous velocity model (scaled from depth)* dan gambar kanan merupakan hasil dari *velocity interval*





**Gambar 2.18.** *Input vertical function and RMS velocity section obtained after inversion (kiri), vertical function and result of inversion (tengah), CMP gather (kanan)*

## 2.12 Prinsip Penjalaran Gelombang Seismik

Seismik refleksi merupakan salah satu metode geofisika untuk mengetahui yang terdapat di dalam bumi dengan memanfaatkan perambatan gelombang ke dalam bumi yang mentransfer energi gelombang menjadi pergerakan partikel batuan. Metode seismik refleksi merupakan metode yang biasa digunakan dalam survei bawah permukaan oleh industri minyak dan gas bumi. Secara umum prinsip kerja gelombang seismik sebagai berikut. Sumber (bisa berupa dinamit dan *air gun*) ditanam di dalam bawah tanah dan diledakkan. Ledakan tersebut menghasilkan gelombang akustik yang menjalar ke segala arah melewati batuan dan dipantulkan kemudian diterima *receiver* atau *geophone* untuk seismik darat dan *hydrophone* untuk survei seismik lepas pantai.

Menurut Hira Nasmy, 2011, Semakin keras suatu batuan maka nilai impedansi akustiknya semakin besar. Kekerasan suatu batuan dipengaruhi oleh nilai densitas yang semakin besar sehingga menyebabkan kecepatan gelombangnya juga semakin

besar. Ketika gelombang seismik melewati dua lapisan yang mempunyai nilai impedansi akustik yang berbeda maka akan terjadi pemantulan energi, dimana perbandingan energi yang dipantulkan dengan energi datang pada keadaan normal terhadap bidang antar-muka dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$ZZ=\rho V \dots\dots\dots (2.36)$$

$$E_r = r_i \times r_{i+1} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$r_i = \frac{Z_{i+1} - Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} \dots\dots\dots (2.38)$$

dimana :

$E_r$  = Energi pantul

$E_i$  = Energi datang

$r_i$  = Koefisien refleksi lapisan ke- $i$

$Z_i$  = Impedansi akustik lapisan ke- $i$

$Z_{i+1}$  = impedansi akustik lapisan ke- $i+1$

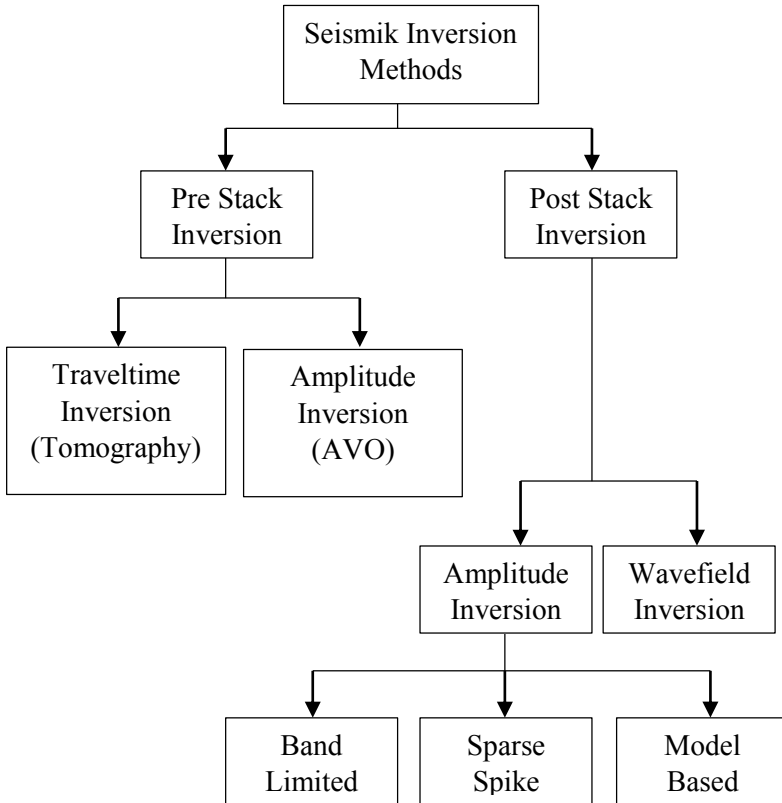
Dari persamaan (2.38) diketahui bahwa ketika kontras impedansi akustik tidak signifikan, maka hanya sebagian kecil energi yang direfleksikan. Kontras impedansi akustik diperoleh karena adanya perbedaan nilai densitas yang mempengaruhi kecepatan gelombang seismik. Perbedaan tersebut dapat diinterpretasikan sebagai kontras litologi. Variasi kontras impedansi akustik dalam deret koefisien refleksi dikonvolusi dengan *wavelet* ditambah dengan *noise* sehingga menghasilkan *trace* seismik. Amplitudo pada *trace* seismik mewakili harga kontras impedansi akustik (Thariq Guntoro, 2014).

## 2.13 Konsep Dasar Metode Inversi

Metode inversi seismik adalah suatu teknik untuk membuat model bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai data input dan data sumur sebagai data kontrol (Sukmono, 2000). Definisi tersebut menjelaskan bahwa metode inversi merupakan kebalikan dari pemodelan ke depan (forward modeling)

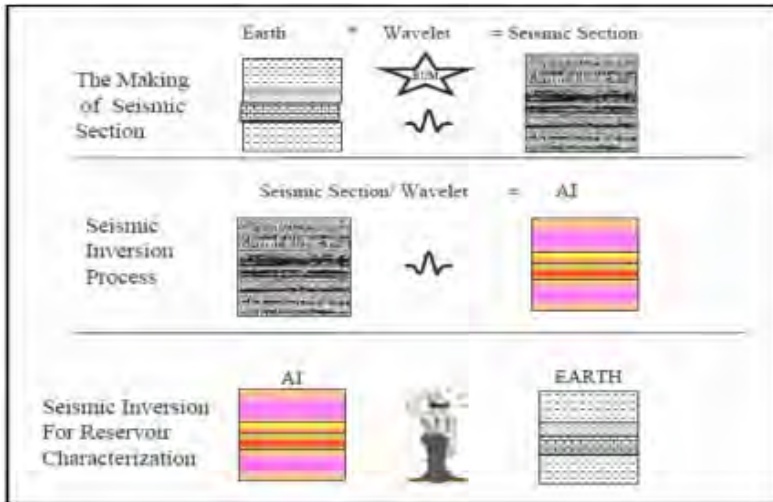
yang berhubungan dengan pembuatan seismogram sintetik berdasarkan model bumi.

Menurut Supriyanto, 2007, Metode seismik inversi terbagi atas dua berdasarkan proses stack data seismik yaitu inversi pre-stack dan inversi post-stack. Inversi pre-stack terdiri dari inversi waktu tempuh (tomografi) dan inversi amplitudo (AVO= Amplitude Versus Offset). Inversi waktu tempuh merupakan inversi yang menentukan struktur bumi dengan berdasarkan waktu tempuh gelombang, sedangkan AVO merupakan inversi yang menentukan parameter elastisitas dari variasi amplitudo berdasarkan jarak. Inversi post-stack terbagi atas inversi amplitudo dan inversi medan gelombang. Berdasarkan algoritma, inversi amplitudo terbagi atas *band limited*, *model based*, dan *sparse spike*.



**Gambar 2.19.** Macam metode seismik inversi (Russel, 1998)

Pada metode inversi seismik penampang seismik dikonversi ke dalam bentuk impedansi akustik yang merepresentasikan sifat fisis batuan sehingga lebih mudah untuk diinterpretasi menjadi parameter-parameter petrofisik misalnya untuk menentukan ketebalan, porositas dan penyebarannya seperti yang tertera pada Gambar 2.20.



**Gambar 2.20.** Diagram konsep dasar inversi seismik (Sukmono, 2000)

Contoh Aplikasi:

### Analisis data seismik pada reflektor tunggal lurus



**Gambar 2.21.** Reflektor mendatar pada kedalaman  $z$ . Kecepatan gelombang  $v$  dianggap konstan. S adalah sumber gelombang seismik dan R adalah penerima gelombang seismik. Jarak antara S dan R disebut *offset* ( $x$ ). Garis merah adalah lintasan gelombang seismik.

Waktu tempuh gelombang ( $t$ ), yang bergerak sesuai dengan lintasan warna merah seperti pada Gambar 2.21, memenuhi model matematika berikut ini

$$t^2 = \frac{4z^2}{v^2} + \frac{x^2}{v^2} \dots \dots \dots (2.39)$$

Persamaan tersebut merupakan langkah proses inversi untuk menentukan:

- kecepatan gelombang seismik ( $v$ ) pada lapisan
- kedalaman reflektor mendatar ( $z$ ) terhadap permukaan (surface)

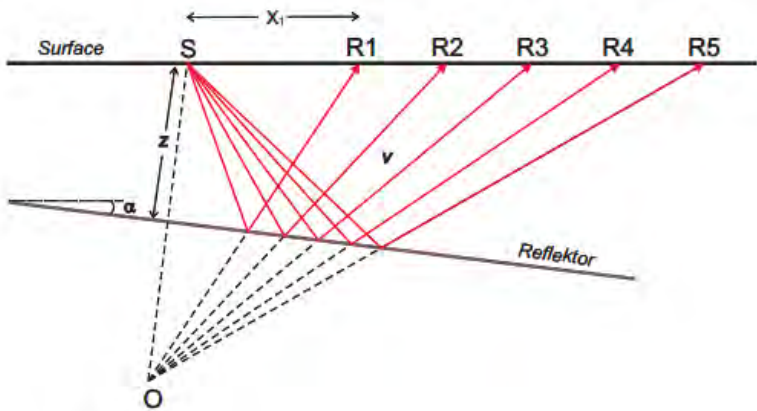
### **Analisis data seismik pada reflektor tunggal miring**

Suatu survei seismik dilakukan untuk mengetahui keberadaan sebuah reflektor miring sebagaimana tampak pada gambar Waktu tempuh gelombang ( $t$ ), yang bergerak sesuai dengan lintasan warna merah seperti pada Gambar 2.22, memenuhi model matematika berikut ini

$$t^2 = 1 + \frac{4z^2}{v^2} + \frac{4xz \sin \alpha}{v^2} + \frac{x^3}{v^2} \dots \dots \dots (2.40)$$

Data observasi yang berhasil dihimpun dari survei tersebut adalah Berdasarkan data tersebut, tentukan:

- kecepatan gelombang seismik ( $v$ ) pada lapisan
- kedalaman reflektor miring ( $z$ ) terhadap permukaan (surface) — jarak terdekat ke sumber gelombang seismik
- sudut kemiringan reflektor ( $\alpha$ )



**Gambar 2.22.** Reflektor miring dengan sudut kemiringan sebesar  $\alpha$ . Kecepatan gelombang  $v$  dianggap konstan. S adalah sumber gelombang seismik dan R adalah penerima gelombang seismik. Jarak antara S dan R disebut offset ( $x$ ). Sementara garis merah bertanda panah adalah lintasan gelombang seismik.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Tempat Penelitian**

Koreksi struktur lapangan “LP” dengan menggunakan metode *pre stack depth migration* (PSDM). Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di PT. PERTAMINA UTC (*Upstream Technology Center*), Gedung Kwarnas, Jalan Merdeka Timur, No.7 Jakarta Pusat 10110, Indonesia.

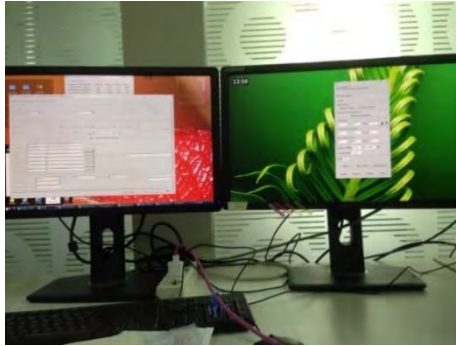
#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah:

##### **3.2.1 Perangkat keras (*Hardware*)**

Koreksi struktur lapangan “LP” dengan menggunakan metode *pre stack depth migration* (PSDM) ini menggunakan perangkat keras meliputi CPU (*Central Processing Unit*), computer 2 layar (30 inci) dengan system operasi linux (*read head*) milik perusahaan PT. PERTAMINA UTC (*Upstream Technology Center*), seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.

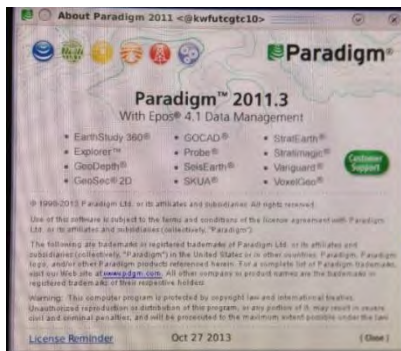




**Gambar 3.1.** Perangkat keras (*Hardware*) yang digunakan

### 3.2.2 Perangkat lunak (*Software*)

Aplikasi perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah aplikasi (*software*) *Paradigm 2011.3 Epos 4.1* seperti yang terlihat pada Gambar 3.2



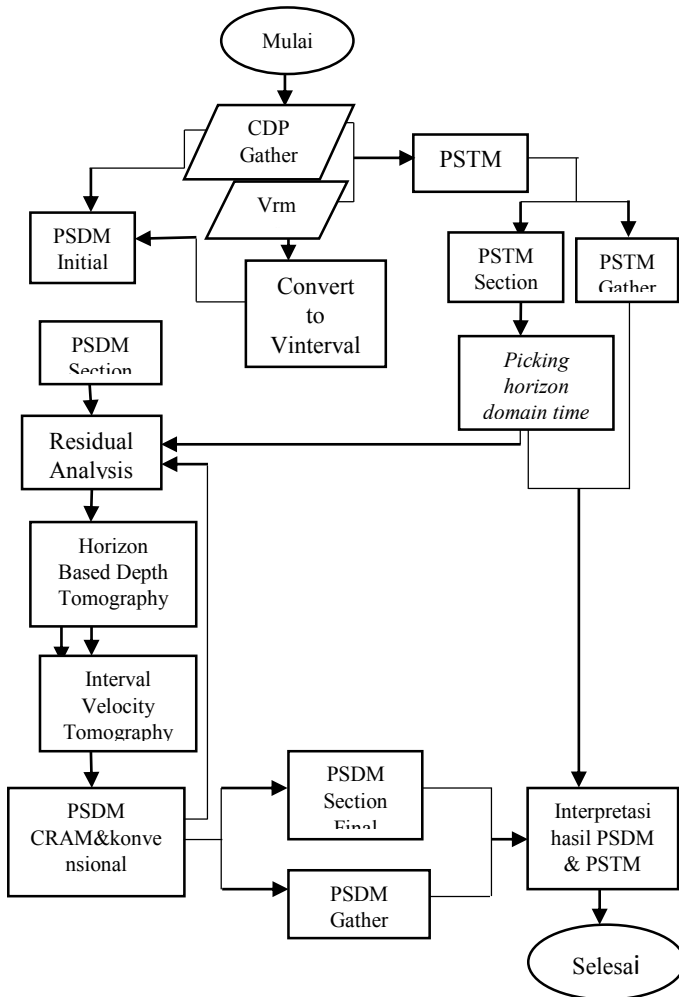
**Gambar 3.2.** Perangkat lunak (*Software*) yang digunakan

### 3.2.3 Data

Data yang digunakan adalah data 2D dengan 2 *line* yaitu *line* 1, dan *line* 2 seperti yang terlihat pada Gambar 3.4.

## 3.3 Cara Kerja

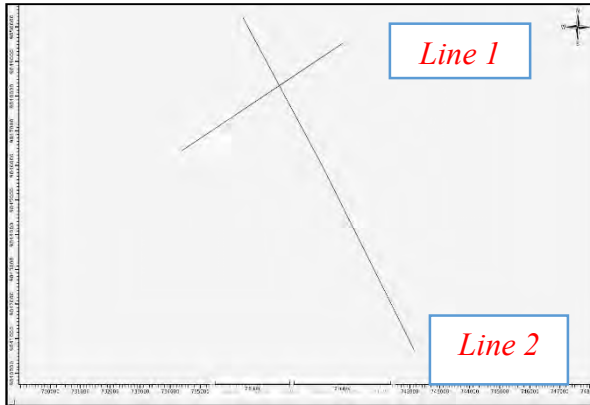
Pengolahan data seismik menggunakan metode *Pre Stack Time Migration* (PSTM) dan *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) menggunakan *software Paradigm 2011.3 Epos 4.1*. Adapun tahapan melakukan pengolahan data pada penelitian tugas akhir ini, seperti pada diagram alir Gambar 3.3 berikut ini.



**Gambar 3.3** Diagram alir pengolahan data seismik metode *Pre Stack Depth Migration* (PSDM)

### 3.4 Base Map

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan data seismik 2 lintasan yaitu *line 1* dan *line 2* seperti yang terlihat pada *base map* Gambar 3.4.



**Gambar 3.4.** *Base map* data yang digunakan untuk penelitian.

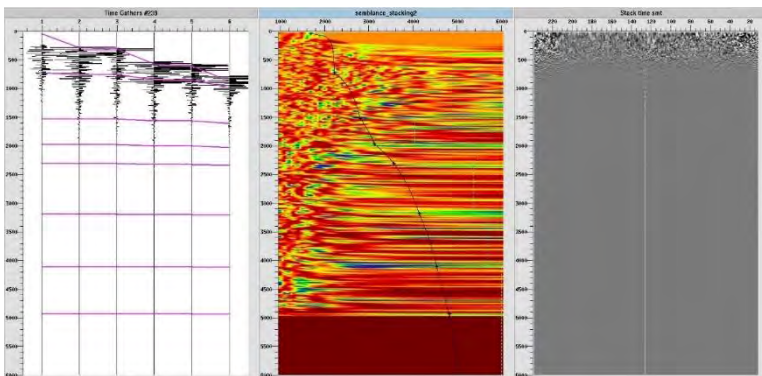
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 *Pre Stack Time Migration (PSTM)*

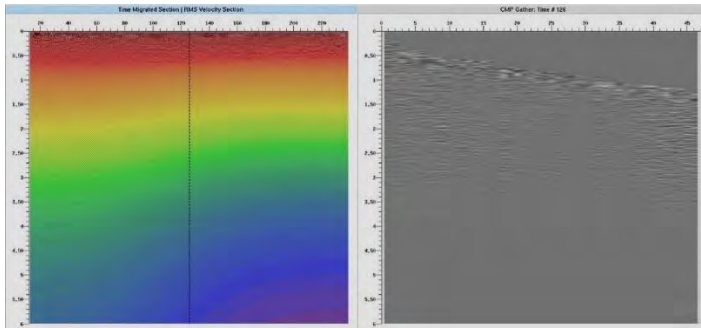
*Pre Stack Time Migration* (PSTM) merupakan teknik migrasi data seismik yang diterapkan sebelum proses *stacking*. Dari pada *post stack*, *pre stack* lebih memberikan hasil yang lebih baik terutama untuk pencitraan struktur yang cukup kompleks. Pada penelitian ini menggunakan metode *Pre Stack Time Migration* (PSTM) dengan input berupa *time gather* yang suda mengalami *pre processing* dan kecepatan *RMS*. Dilakukan proses analisa kecepatan *stack* atau model awal kecepatan bawah permukaan. Untuk menghasilkan model kecepatan dilakukan proses *semblance stacking* dan koreksi NMO yang dilakukan di setiap 10 CDP untuk *line 1* total CDP sejumlah 12 sampai 239 CDP dan pada *line 2* sejumlah 6 sampai 445 CDP, *picking semblance* dilakukan seperti pada Gambar 4.1.



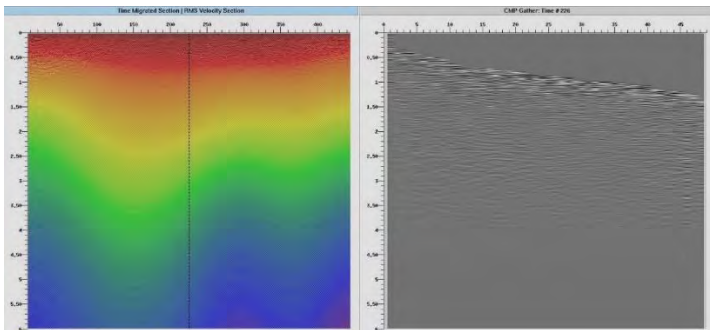
**Gambar 4.1** Contoh *picking* pada *semblance stacking*

Tujuan dari proses ini adalah untuk membentuk model kecepatan sehingga menghasilkan *output* penampang struktur bawah permukaan yang akurat. Dari hasil *semblance stacking* ini yang akan digunakan sebagai model  $V_{rms}$  pada proses *Pre Stack*

*Time Migration* (PSTM). Pada proses *pre stack time migration* (PSTM) model kecepatan yang digunakan adalah model kecepatan RMS (*root mean square*) yang merupakan nilai rata-rata dari seluruh lapisan berdasarkan anggapan bahwa lapisan yang terdapat dibawah permukaan adalah horizontal tidak ada variasi kecepatan secara lateral sehingga di dapatkan  $V_{rms}$  pada masing-masing line pada Gambar 4.2 berikut ini.



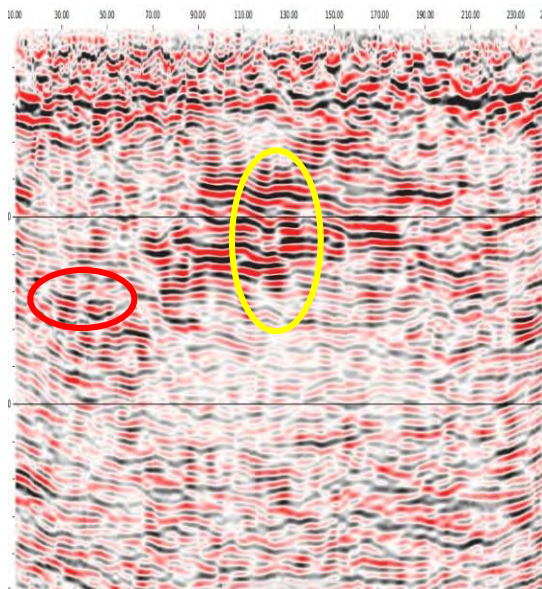
(a)



(b)

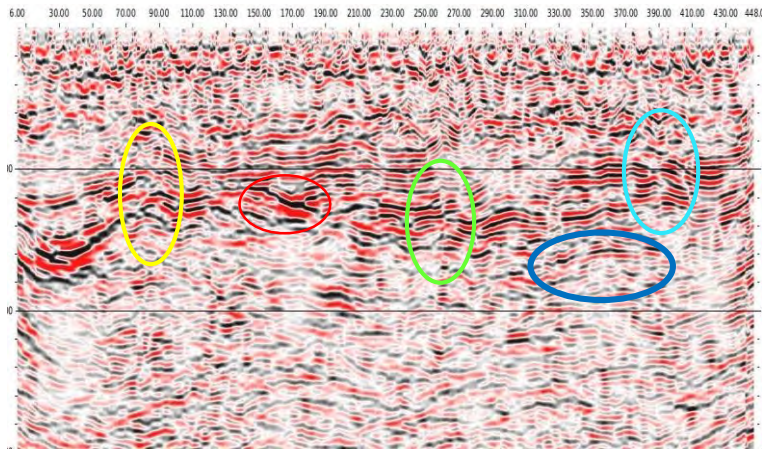
**Gambar 4.2** Hasil  $V_{rms}$  dari *line 1* untuk gambar (a) dan *line 2* untuk gambar (b)

Dengan menggunakan *input* berupa *Vrms* kemudian dilakukan proses *pre stack time migration* (PSTM) menggunakan migrasi *Kirchhoff*. Migrasi *Kirchhoff* ini hanya menggunakan *single raypath* dimana pada migrasi ini mengacu pada satu titik *ray tracing* sehingga diperoleh penampang bawah permukaan yang cukup baik. Dari hasil penampang proses *pre stack time migration* (PSTM) terlihat reflektor-reflektor yang cukup jelas lapisan-lapisannya. Pada proses *Pre Stack Time Migration* (PSTM) diperoleh hasil seperti pada Gambar 4.3.



(a)





(b)

**Gambar 4.3** Penampang yang dihasilkan dari proses *Pre Stack Time Migration* (PSTM) untuk gambar (a) *line 1* dan untuk gambar (b) *line 2*

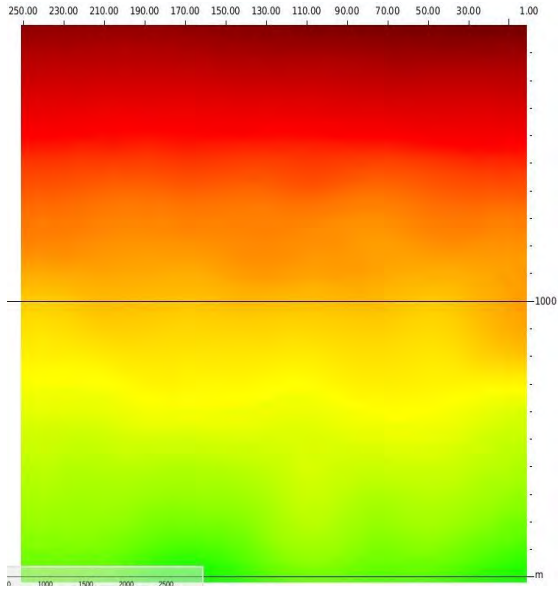
Pada proses *Pre Stack Time Migration* (PSTM) ini terlihat reflektor-reflektor yang cukup jelas tetapi masih terdapat *noise* yang saling bertumbukan. Pada studi kasus penelitian ini merupakan lapisan karbonat yang sangat kompleks sehingga memiliki nilai variasi kecepatan lateral yang relative tinggi, sehingga kecepatan RMS yang digunakan belum bisa memberikan hasil yang maksimal. Lapisan yang dihasilkan belum terlihat jelas hanya terdapat beberapa *horizon* yang muncul sehingga sulit untuk diinterpretasikan. Terdapat efek *pull up* pada gambar (b) di dalam lingkaran warna kuning dan warna merah, hal ini disebabkan oleh perbedaan kecepatan yang cukup besar pada lapisan karbonat, karena adanya perbedaan kecepatan secara lateral yang cukup besar mengakibatkan terjadinya kesalahan dalam pembuatan model kecepatan sehingga penampang yang dihasilkan tidak akurat, begitu pula pada bagian lingkaran warna merah pada bagian tersebut juga terdapat efek *pull up*. Model  $V_{rms}$  yang digunakan pada proses *Pre Stack Time Migration* (PSTM) ini menggunakan

$V_{rms}$ , sehingga diasumsikan sebagai *straight ray*, dimana kecepatan gelombang seismik semakin cepat pada permukaan yang semakin dalam. Pada kenyataannya, suatu permukaan mempunyai perbedaan kecepatan antar lapisan (variasi kecepatan lateral) yang berbeda-beda. Sehingga  $V_{rms}$  yang digunakan pada proses *Pre Stack Time Migration* (PSTM) mempunyai nilai *error* yang cukup tinggi pada geometri reflektor yang mempunyai sudut kemiringan yang besar karena tidak memiliki nilai kecepatan yang sesuai pada reflektor tersebut. Dari hasil tersebut kemudian dilakukan perbaikan citra bawah permukaan dengan menggunakan proses *pre stack depth migration* (PSDM).

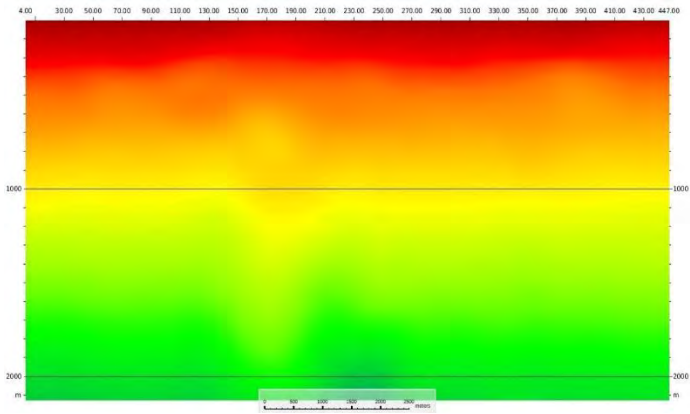
## **4.2 Pre Stack Depth Migration (PSDM)**

### **4.2.1 Constrained Velocity Inversion (CVI)**

Transformasi kecepatan dari  $V_{rms}$  to  $V_{interval}$  perlu dilakukan untuk data input *Pre Stack Depth Migration* (PSDM). Pada penelitian ini menggunakan metode *Constrained Velocity Inversion* (CVI) untuk transformasi kecepatan RMS menjadi kecepatan interval, dengan menggunakan metode ini dapat menghasilkan kecepatan interval *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) yang mendekati nilai kecepatan yang sebenarnya. Pada kecepatan RMS, hanya menghasilkan *interval velocity* pada *top and bottom* secara local dimana kecepatan pada setiap *horizon* dianggap konstan sesuai dengan kedalaman, sedangkan metode *Constrained Velocity Inversion* (CVI) ini tidak hanya melakukan perhitungan pada *top and bottom* melainkan perhitungan dilakukan di setiap *horizon*nya. *Velocity modeling* yang dihasilkan dengan menggunakan metode ini lebih *smooth* dan lebih kompleks sehingga sangat cocok digunakan dalam pemodelan kecepatan interval pada domain kedalaman untuk struktur permukaan yang kompleks, seperti pada Gambar 4.4 dibawah ini.



(a)



(b)

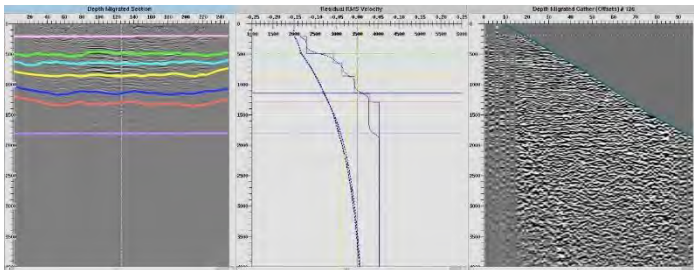
**Gambar 4.4** Hasil transformasi  $V_{rms}$  ke  $V_{interval}$  dengan menggunakan metode *Constrained Velocity Inversion* (CVI) untuk gambar (a) *line 1* dan untuk gambar (b) *line 2*.

Model kecepatan interval ini yang akan digunakan sebagai *input* pada proses *Pre Stack Depth Migration* (PSDM). Salah satu kelebihan kecepatan interval dari hasil transformasi *Constrained Velocity Inversion* (CVI) ini adalah menganalisa variasi kecepatan pada setiap lapisan baik secara vertikal maupun horizontal dengan cara merata-rata kecepatan setiap lapisan sehingga diperoleh model kecepatan yang lebih akurat pada setiap lapisannya. Pada setiap lapisan memiliki kecepatan yang bervariasi, hal ini dapat menginterpretasikan penampang yang dihasilkan, *ray path* akan dibelokkan pada saat melewati lapisan yang mempunyai kecepatan tinggi sehingga model kecepatan interval yang dihasilkan dari metode ini semakin baik dan mendekati model kecepatan yang sebenarnya.

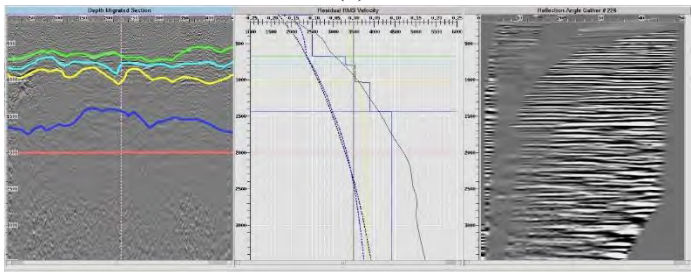
#### 4.2.2 *Pre Stack Depth Migration* (PSDM)

Dalam melakukan proses migrasi *pre stack depth migration* (PSDM) ini menggunakan data input berupa *time gather* dan kecepatan *interval* yang diperoleh dari hasil transformasi kecepatan RMS dengan menggunakan metode *constrained velocity interval* (CVI) dimana pemodelan kecepatan yang dihasilkan lebih kompleks, lebih *smooth*, dan mendekati kecepatan yang sebenarnya. Metode *pre stack depth migration* (PSDM) ini menggunakan *Common Reflection Angle Migration* (CRAM), ini merupakan salah satu teknik migrasi yang berdasarkan konsep *multi-arrival* bekerja berdasarkan *ray tracing* menggunakan seluruh bagian gelombang dalam *aperture* yang terkontrol pada penelitian tugas akhir ini menggunakan nilai *full aperture*. Migrasi *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) ini menghasilkan penampang yang lebih bagus dan lebih jelas karena menggunakan analisis sudut kemiringan dari *reflektor-reflektor* pada gelombang. Dapat dilihat hasil dari migrasi *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) memiliki kualitas data (rasio S/N) yang lebih baik, hal ini disebabkan *spatial sampling* yang uniform pada dimensi *angle* dibandingkan dengan *spatial sampling* pada dimensi *offset* yang pada umumnya *irregular*. Hasil dari migrasi *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) terlihat relative lebih bersih

dari noise yang saling bertabrakan saat proses migrasi yang menyebabkan pada daerah tersebut menjadi lebih mudah untuk diinterpretasikan. Dari hasil proses *pre stack depth migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) yang terlihat terdapat perbaikan yang signifikan terkait kemenerusan reflektor yang terlihat lebih jelas. Dikarenakan hasil pembuatan model kecepatan interval yang cukup baik. Akan tetapi hal ini masih perlu dilakukan proses perbaikan model kecepatan menggunakan metode *Horizon Based Depth Tomography*. Dari hasil migrasi awal ini dilakukan interpretasi pada masing-masing *horizon*, pada tahap ini bertujuan mendapatkan interpretasi penampang yang mendekati lapisan sebenarnya.

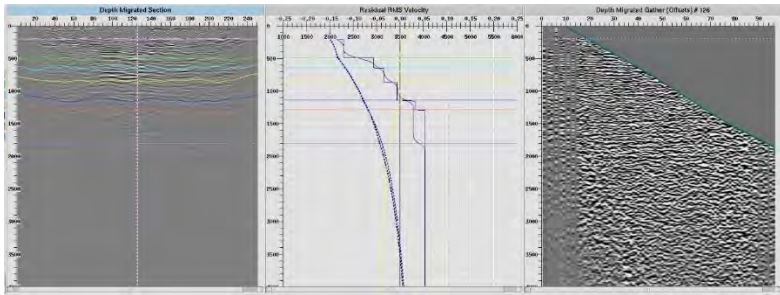


(a)

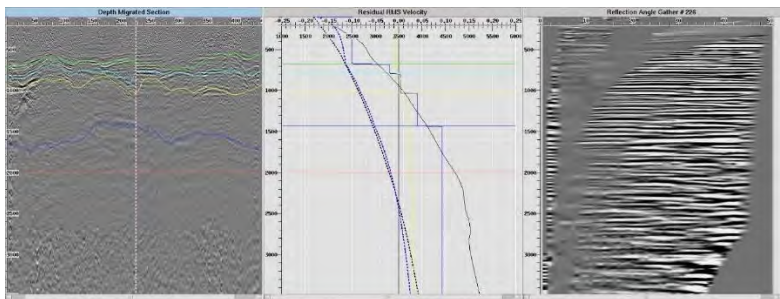


(b)

**Gambar 4.5.** Interpretasi di setiap *horizon* untuk pemodelan pada proses tomografi gambar (a) untuk *line 1* dan gambar (b) untuk *line 2*

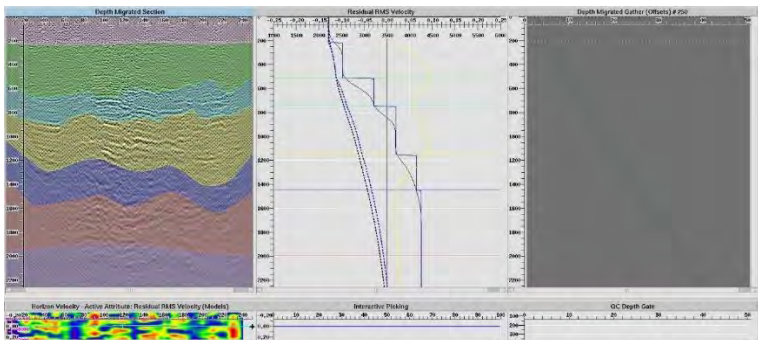


(a)

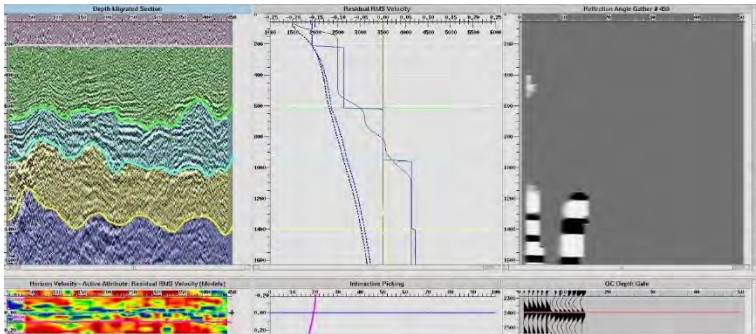


(b)

**Gambar 4.6.** Hasil dari interpretasi di setiap *horizon* untuk pemodelan pada proses tomografi (a) *line 1* dan (b) *line 2*.



(a)



(b)

**Gambar 4.7.** Pemodelan kecepatan interval pada proses tomografi (a) *line 1* dan (b) *line 2*

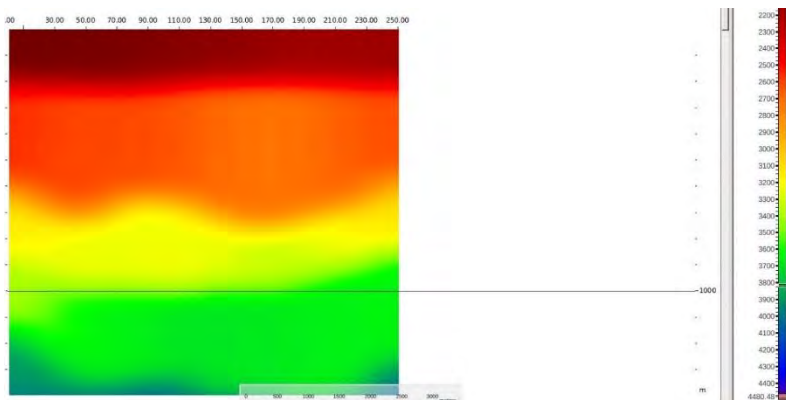
#### 4.2.3 Perbaikan Model Kecepatan Interval Menggunakan Metode *Horizon Based Depth Tomography*

Metode pemodelan kecepatan interval dengan menggunakan *constrained velocity interval* (CVI) bukan merupakan model kecepatan yang sebenarnya, karena masih belum terlihat hasil yang maksimal pada citra bawah permukaannya, karena baik tidaknya citra bawah permukaan yang di hasilkan sangat mempengaruhi hasil interpretasi. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan pemodelan kecepatan yang lebih akurat, metode yang digunakan untuk memperbaiki model kecepatan interval pada penelitian ini adalah *horizon based depth tomography*, pada proses pemodelan kecepatan interval ini dilakukan *iterasi* tak berhingga sampai diperoleh pemodelan kecepatan interval yang benar-benar optimal sehingga mendapatkan nilai *error residual depth move out* yang mendekati nol. Pada proses pemodelan kecepatan ini dilakukan secara berulang (*iterasi*) hingga mendapatkan gather yang lebih lurus dari hasil proses sebelumnya. Ketika *gather* yang diperoleh pada proses ini sudah lurus, hal ini menunjukkan bahwa model kecepatan yang diperoleh dari metode tomografi ini sudah tepat, ketika *gather* terlihat melengkung keatas hal itu menandakan bahwa kecepatan yang dipilih pada saat *picking residual* masih



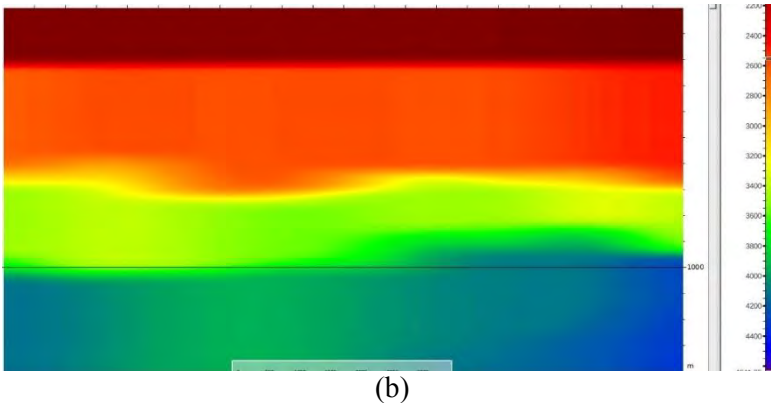
terlalu rendah dan ketika gather melengkung ke bawah berarti kecepatan yang dipilih pada *picking residual* masih terlalu tinggi.

Setelah dilakukan proses *picking residual* selanjutnya *running* tomografi menggunakan metode *horizon based depth tomografi*. Metode ini dapat meminimalisir nilai *error* pada model kecepatan interval, *ray tracing* pada setiap *horizon* digunakan untuk membuat matrix tomografi pada persamaan 2.5 di sepanjang lintasan gelombang. Nilai *error* tiap lapisan diselesaikan secara simultan menggunakan *least squares* untuk meminimalisir kesalahan waktu tempuh yang melewati seluruh model sehingga diperoleh model kecepatan yang paling baik pada masing-masing *horizon*. Pemodelan kecepatan interval dengan metode tomografi menghasilkan *velocity* baru sebagai input migrasi pada proses selanjutnya, hasil dari metode tomografi dapat dilihat pada Gambar 4.8.



(a)





**Gambar 4.8.** Hasil perbaikan *interval velocity* dengan metode *horizon based tomography line 1* (a) dan *line 2* (b)

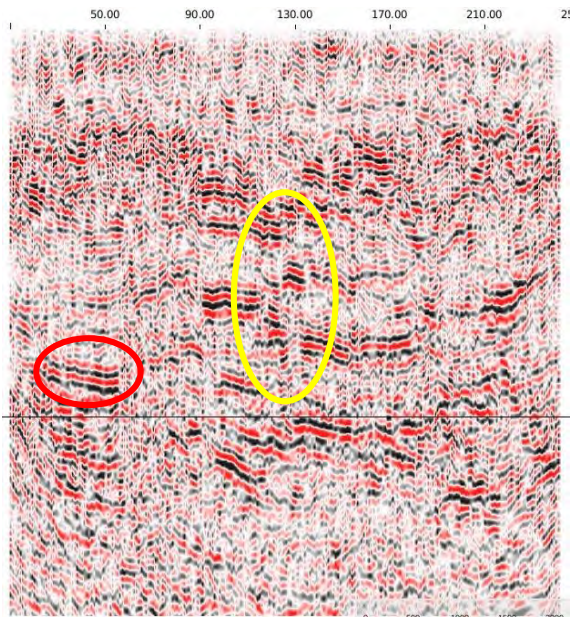
Dari hasil perbaikan kecepatan interval ini yang akan digunakan sebagai input untuk proses selanjutnya *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) *final*. Setelah dilakukan proses perbaikan kecepatan interval yang dilakukan secara berulang (iterasi) sampai di peroleh kecepatan interval yang terbaik sebagai *input* untuk proses *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) *final*.

#### 4.2.4 *Pre Stack Depth Migration (PSDM) Final*

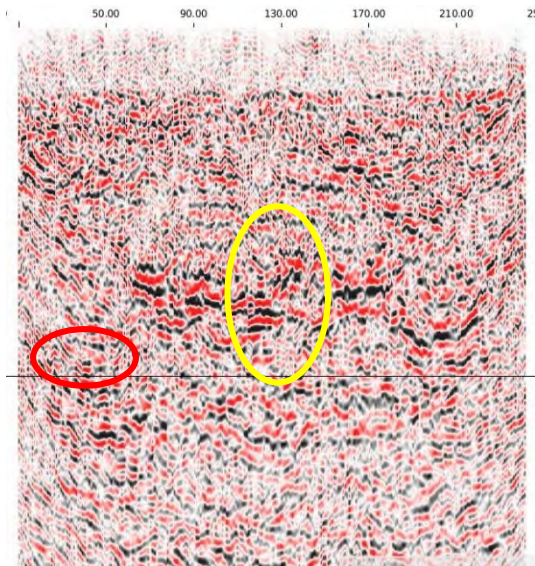
Metode *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) dilakukan setelah diperoleh nilai kecepatan interval baru dari hasil proses tomografi, hal ini dilakukan untuk mengamati perubahan pencitraan (*imaging*). Dengan menggunakan kecepatan interval yang terus diperbaiki, maka diperoleh pencitraan seismik yang paling baik dan sesuai dengan struktur geologi yang sebenarnya, sehingga menghasilkan penampang yang lebih bagus dibandingkan dari hasil metode *Pre Stack Time Migration* (PSTM), hal ini disebabkan *velocity* yang digunakan pada proses didalamnya. Metode *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) memiliki kecepatan yang lebih kompleks, metode dengan domain kedalaman ini merupakan salah satu kelebihan dari proses *Pre Stack Depth*

*Migration* (PSDM) yang digunakan sebagai pembanding model geologi dalam pembuatan model kecepatan. Metode *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) ini menggunakan konsep *ray tracing* yaitu dari sumber gelombang yang merambat ke bawah permukaan kemudian dipantulkan dan merambat ke atas dan diterima oleh penerima. Konsep *ray tracing* ini yang dapat menghasilkan model penampang yang lebih akurat dan lebih mendekati lapisan yang sebenarnya.

Metode *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) ini menggunakan migrasi *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) dimana metode ini menggunakan prinsip sudut kemiringan (*Angle*), sehingga penampang yang dihasilkan dengan metode ini relative lebih jelas, resolusi yang sangat baik, dan berkualitas tinggi. Dapat dilihat dari hasil proses migrasi ini, Nampak reflektor-reflektor miring yang lebih terlihat jelas dari hasil proses sebelumnya. Hasil dari *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) ini terdapat pada Gambar 4.9 (a) dan Gambar 4.10 (a). Pada penelitian ini juga dilakukan metode *pre stack depth migration* (PSDM) dengan menggunakan metode konvensional *Kirchhoff domain offset*. Dilakukan metode *kirchhoff* konvensional ini dengan tujuan untuk membandingkan hasil dari migrasi domain *angle* dengan migrasi konvensional domain *offset*. Pada metode ini hasil yang di dapatkan tidak begitu maksimal, terlihat dari kemenerusan reflektor, kemiringan reflektor, dan *positioning event* yang tidak tepat sehingga hal ini sangat mempengaruhi pada saat dilakukan interpretasi. Hasil dari *pre stack depth migration* (PSDM) konvensional *Kirchhoff domain offset* ini terlihat pada Gambar 4.9 (b) dan Gambar 4.10 (b).

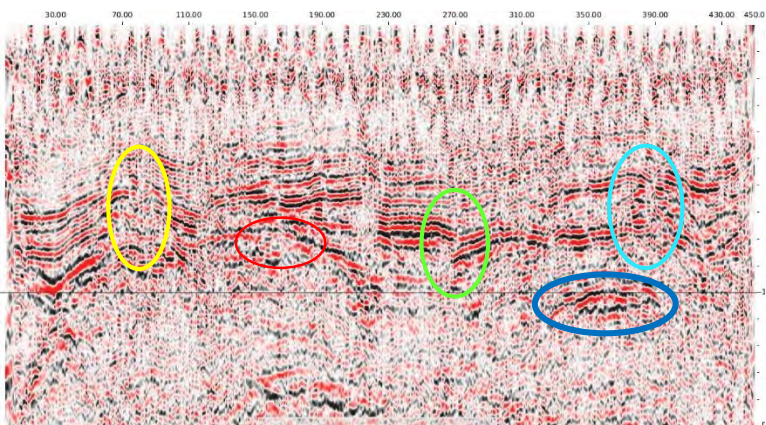


(a)

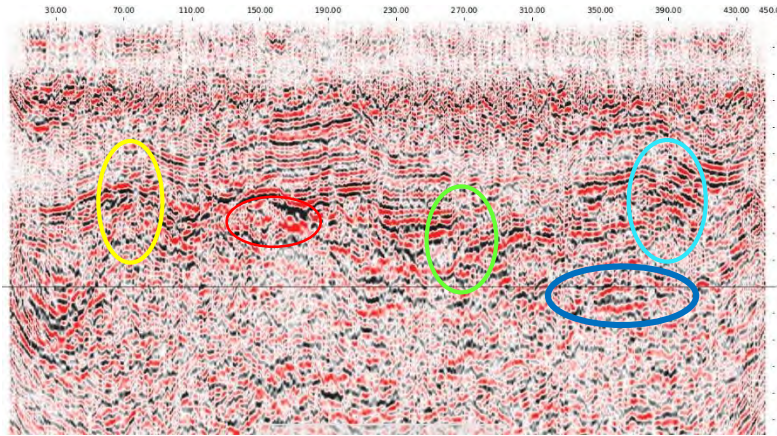


(b)

**Gambar 4.9.** Hasil dari proses *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) *line 1* untuk gambar (a) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM), domain *angle* dan pada gambar (b) konvensional, *kirchhoff* domain *offset*



(a)



**Gambar 4.10.** Hasil dari proses *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) line 2 untuk gambar (a) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM), domain *angle* dan pada gambar (b) konvensional, *kirchhoff* domain *offset*

Dari hasil proses *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) dapat dilakukan analisa bahwa, lapisan tiap *horizon* terlihat lebih jelas terdapat perbaikan yang signifikan pada masing-masing reflektor, lebih bersih dari *noise*, *reflektor-reflektor* terlihat lebih mendetail serta efek *pull up* sudah tidak terlihat disini Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 (a) karena kecepatan interval yang digunakan sudah tepat. Terlihat *gather* yang lebih datar dan nilai *error residual* yang mendekati nol, hal ini terlihat pada saat analisa *residual moveout*. Setelah dilakukan proses *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) *final* kemenerusan reflektor pada penampang seismik yang sudah mengalami proses perbaikan kecepatan, sudah terlihat semakin jelas dan terlihat lebih bagus.

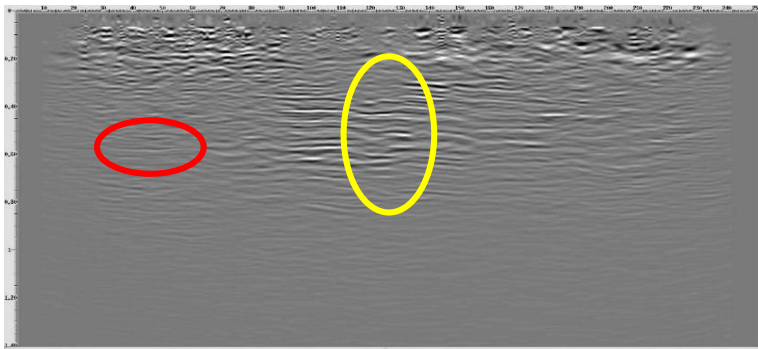
Terlihat perbedaan yang cukup jelas antara hasil dari proses *pre stack depth migration* (PSDM) antara metode *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) domain *angle* dan konvensional *Kirchhoff* domain *offset*. Pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 (b), citra bawah permukaan yang dihasilkan pada



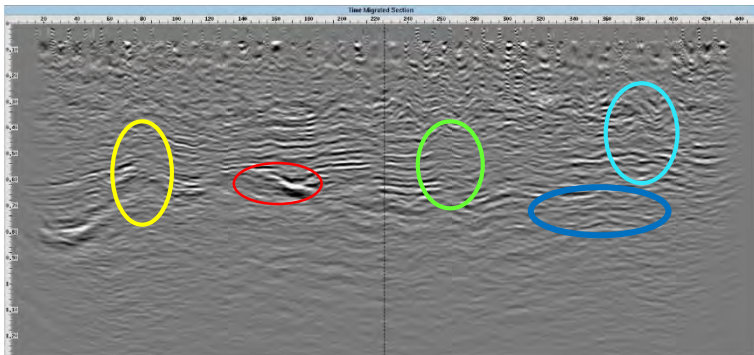
domain *offset* masih terdapat lebih banyak *noise*, kemenerusan *reflektor-reflektor* terlihat kurang kontinyu sehingga lapisan-lapisan yang terbentuk kurang mendetail. Hasil dari metode konvensional *Kirchhoff* domain *offset* ini memberikan *positioning event* yang kurang tepat, hal ini disebabkan oleh domain *offset* yang digunakan tidak dapat menganalisa kemiringan *reflektor* dengan baik. Metode konvensional *Kirchhoff* domain *offset* ini membutuhkan tingkat ketelitian yang lebih tinggi di dibandingkan metode *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) pada proses interpretasinya karena *event-event* seismik yang terbentuk terlihat kurang begitu jelas.

#### **4.3 Perbandingan *Pre Stack Time Migration* (PSTM) dengan *Pre Stack Depth Migration* (PSDM)**

Dari hasil proses *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) *common reflection angle migration* (CRAM) dengan model kecepatan interval hasil tranformasi kecepatan RMS ke kecepatan interval menggunakan metode *constrained velocity interval* (CVI) dan kemudian dilakukan iterasi hingga diperoleh pemodelan kecepatan interval yang mendekati kecepatan yang sebenarnya menggunakan metode *horizon based depth tomography* untuk pemodelan kecepatan interval sebagai input proses migrasi *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) 2D *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) dan migrasi konvensional *Kirchhoff* domain *offset*. Selanjutnya dilakukan analisa hasil migrasi domain waktu *Pre Stack Time Migration* (PSTM) dan domain kedalaman *Pre Stack Depth Migration* (PSDM), secara menyeluruh penampang yang dihasilkan pada metode *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) lebih baik jika dibandingkan dengan metode *Pre Stack time migration* (PSTM). Analisa hasil kedua metode tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.10 hingga Gambar 4.14.

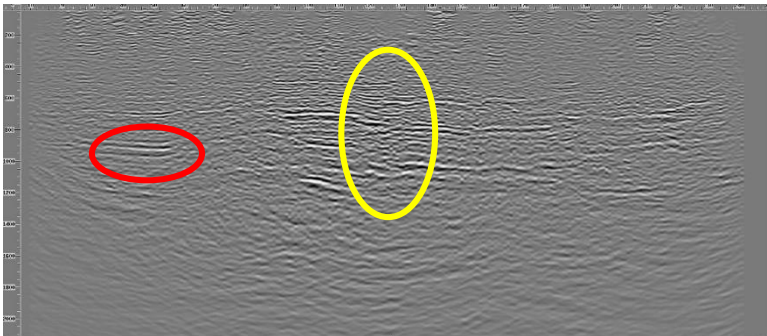


(a)

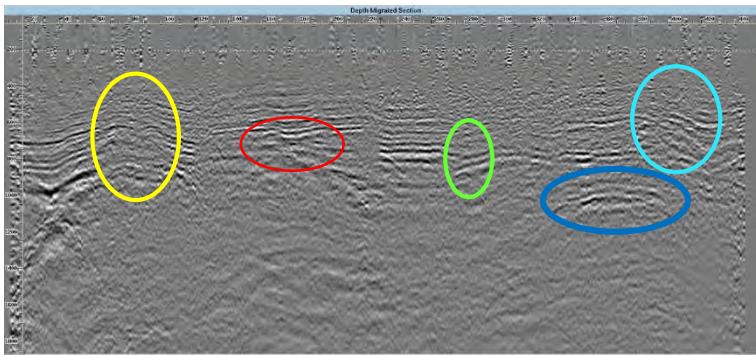


(b)

**Gambar 4.11.** Penampang *depth migrated gather* dari hasil *Pre Stack time Migration* (PSTM) line 1 (a) dan line 2 (b)



(a)



(b)

**Gambar 4.12.** Penampang *migrated gather* dari hasil *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) *line 1* (a) dan *line 2* (b)

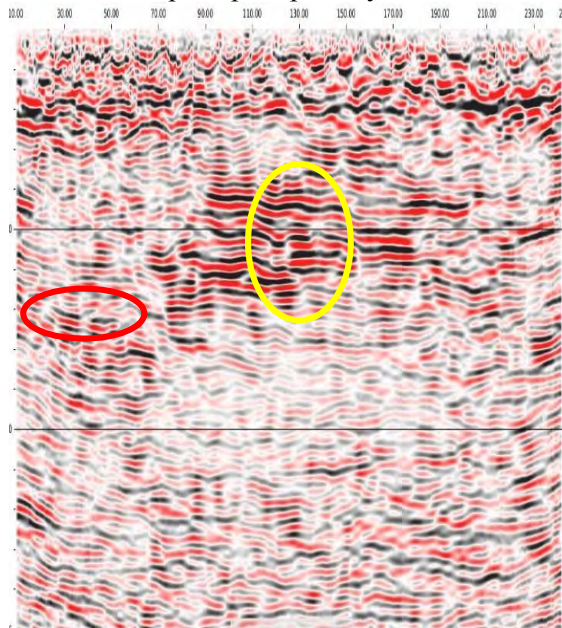
Berdasarkan analisa *section* hasil *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) dan hasil *Pre Stack Time Migration* (PSTM) diketahui bahwa penampang yang dihasilkan pada proses *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) mampu memberikan reflektor yang lebih jelas daripada penampang yang dihasilkan pada proses *Pre Stack Time Migration* (PSTM). Penampang yang dihasilkan pada metode *pre stack depth migration* (PSDM), terlihat reflektor yang lebih jelas kemenerusan yang signifikan dan dengan ketebalan yang relative tipis sehingga mencitrakan penampang yang lebih jelas dengan kemenerusan yang lebih baik.



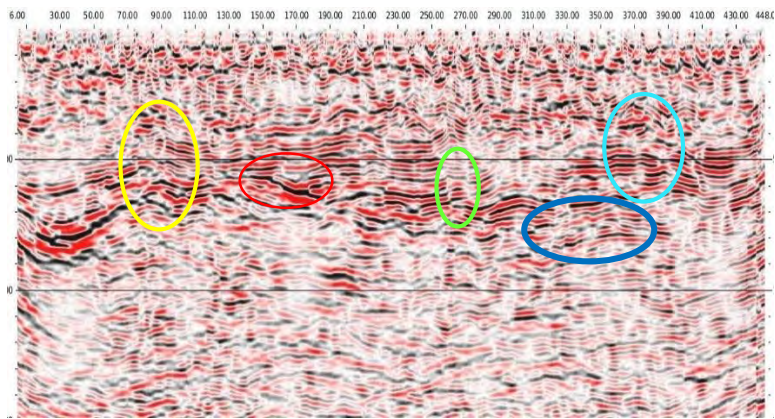
Pada *line 1* Gambar (a) dapat dilihat pada bagian yang dilingkari warna merah. Di dalam lingkaran warna merah pada saat proses *pre stack time migration* (PSTM) masih belum terlihat lapisan sama sekali, sedangkan pada hasil *pre stack depth migration* (PSDM) terlihat jelas bahwa pada bagian tersebut terdapat lapisan yang lebih jelas dari hasil penampang bawah permukaan sebelumnya hasil dari proses *pre stack time migration* (PSTM). Pada bagian yang terdapat lingkaran warna kuning hasil penampang bawah permukaan proses *pre stack time migration* (PSTM) terlihat bahwa terdapat lapisan biasa yang datar (*flat*), reflektor terlihat lurus, akan tetapi ketika dilihat pada hasil proses *pre stack depth migration* (PSDM) terlihat sangat jelas bahwa pada bagian tersebut terdapat patahan (*fault*), hal ini merupakan kelebihan dari metode *pre stack depth migration* (PSDM) bahwa metode ini dapat memperjelas *event-event* kecil yang tidak terlihat pada proses sebelumnya *Pre Stack Time Migration* (PSTM).

Pada *line 2* Gambar (b) bagian yang dilingkari warna kuning pada proses *pre stack time migrated* (PSTM), terlihat lapisan yg lebih tinggi dari lapisan aslinya disitu, akan tetapi setelah melalui proses *pre stack depth migration* (PSDM) terlihat hanya lapisan datar hal ini dikarenakan adanya efek *pull up*, efek *pull up* ini terjadi akibat perbedaan kecepatan yang cukup besar pada shale dan karbonat, karena adanya perbedaan kecepatan secara lateral yang cukup besar mengakibatkan terjadinya kesalahan dalam pembuatan model kecepatan sehingga citra bawah permukaan yang dihasilkan kurang maksimal. Pada proses *pre stack depth migration* (PSDM) dapat memberikan hasil citra bawah permukaan yang akurat sesuai dengan kondisi aslinya. Begitu pula pada bagian di dalam lingkaran berwarna merah setelah hasil *pre stack depth migration* (PSDM) terlihat reflektor yang lebih tipis dan lebih jelas kemenerusan yang signifikan sehingga hal ini dapat mempermudah pada proses interpretasi. Pada bagian lingkaran warna merah terdapat efek *pull up* seperti pada bagian lingkaran warna kuning dan proses *pre stack depth migration* (PSDM) dapat menghilangkan efek tersebut. Pada lingkaran berwarna hijau, saat melalui proses *pre stack time migration* (PSTM) terlihat lapisan

yang tidak terlalu jelas reflektornya terlihat lebih datar di setiap lapisannya, tetapi setelah melalui proses *pre stack depth migration* (PSDM) sangat terlihat jelas terdapat patahan (*fault*) pada bagian tersebut. Bagian yang dilingkari warna biru terlihat lebih jelas dari hasil proses sebelumnya karena *noise* juga mempengaruhi kemenerusan reflektor pada per lapisannya.

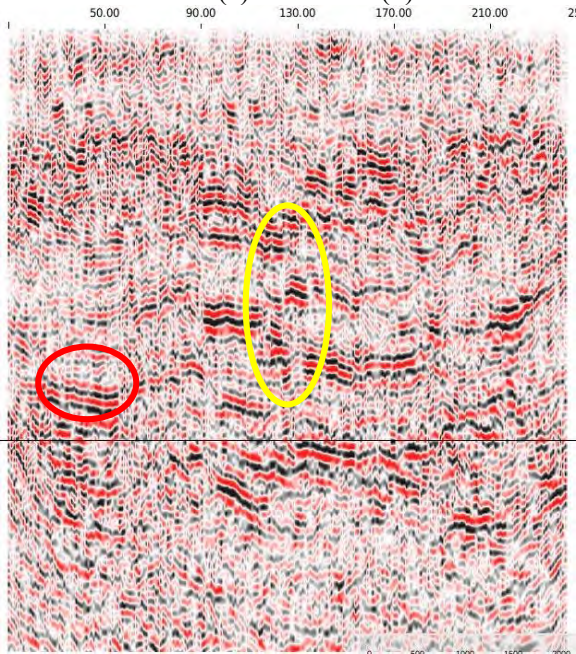


(a)

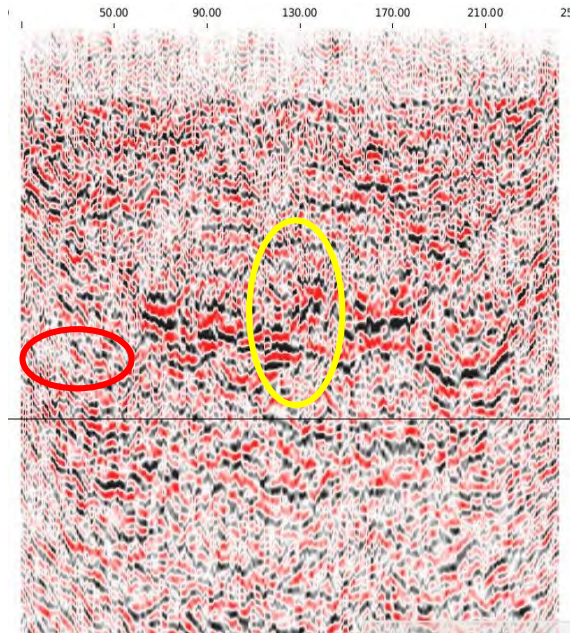


(b)

**Gambar 4.13.** Hasil metode *Pre Stack Time Migration (PSTM)* line 1 (a) dan line 2 (b)



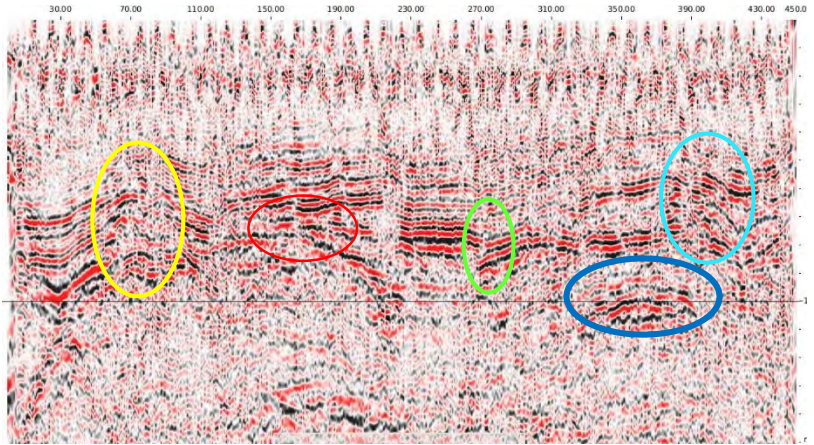
(a)



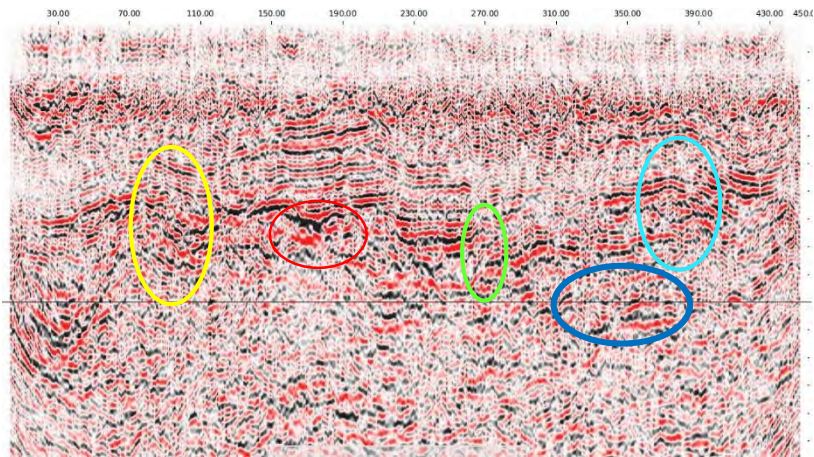
(b)

**Gambar 4.14.** Hasil metode *Pre Stack Depth Migration (PSDM)* line 1 untuk gambar (a) *Common Reflection Angle Migration (CRAM)*, domain *angle* dan pada gambar (b) konvensional, *kirchhoff* domain *offset*





(a)



(b)

**Gambar 4.15.** Hasil metode *Pre Stack Depth Migration (PSDM)* line 2 untuk gambar (a) *Common Reflection Angle Migration (CRAM)*, domain *angle* dan pada gambar (b) konvensional, *kirchhoff domain offset*

Dari hasil penampang *initial* pada Gambar 4.13 hasil *Pre Stack Time Migration (PSTM)* dan Gambar 4.14, Gambar 4.15

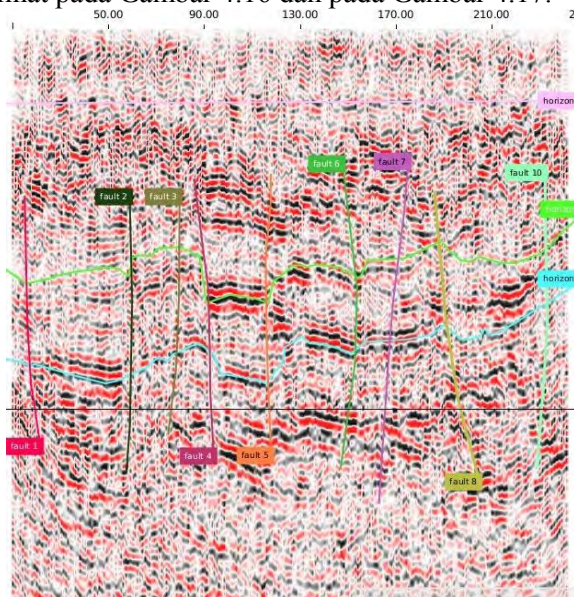
hasil *Pre stack Depth Migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) domain *angle* dan konvensional *Kirchhoff* domain *offset* dilakukan analisa, secara umum hasil dari metode *Pre stack Depth Migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) domain *angle* lebih baik dibandingkan dengan hasil dari metode *Pre Stack Time Migration* (PSTM) maupun hasil dari *pre stack depth migration* (PSDM) *Kirchhoff* domain *offset*. Terlihat dari reflektor yang dihasilkan, *pre stack depth migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) domain *angle* lebih mencitrakan kemenerusan reflektor yang lebih signifikan dibandingkan dengan hasil dari metode *pre stack time migration* (PSTM) maupun *pre stack depth migration* (PSDM) *Kirchhoff* domain *offset*. Dapat dilihat dari penampang secara keseluruhan, pada *pre stack depth migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) domain *angle* lebih sedikit terdapat *noise* dibandingkan dengan hasil dari *pre stack time migration* (PSTM) dan *pre stack depth migration* (PSDM) *Kirchhoff* domain *offset*, hal ini dapat mempermudah dalam proses interpretasi. Proses interpretasi merupakan tahap yang sangat penting pada *seismic processing*, ketika suatu permukaan yang dihasilkan lebih jelas maka proses interpretasi dapat dilakukan secara lebih mendetail dan tingkat kebenaran lebih akurat. Pada Gambar 4.14, Gambar 4.15 (a) terlihat lebih baik, hal ini ditunjukkan bahwa sudah tidak ada efek *pull up* setelah di lakukan proses pada *pre stack depth migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM).

*Signal to noise ratio* (S/N) pada penampang *pre stack depth migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) lebih besar daripada penampang *pre stack time migration* (PSTM) maupun *pre stack depth migration* (PSDM) konvensional, hal ini terlihat pada penampang *pre stack depth migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) yang dapat memberikan kemenerusan citra reflektor yang lebih jelas, hasil pencitraan yang diperoleh bebas dari distorsi struktur yang berhubungan terhadap variasi kecepatan lateral dan lebih bersih dari *noise*, dan *positioning* yang baik, jika kecepatan yang

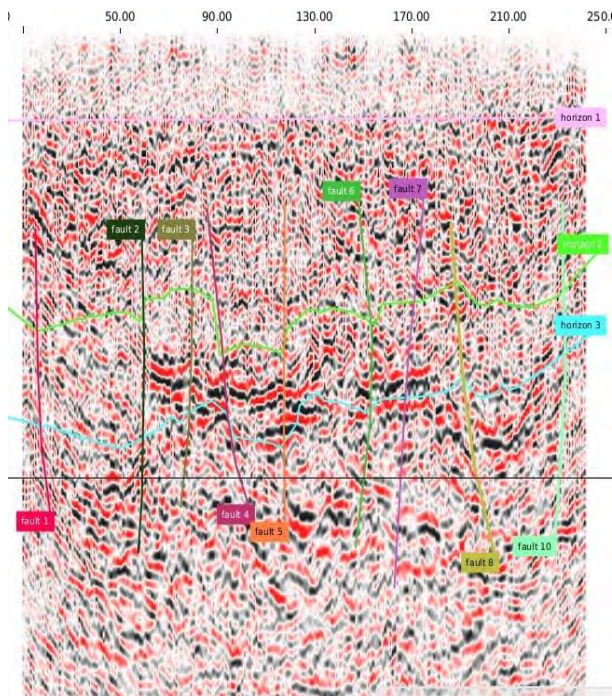
diketahui cukup akurat, event yang tampak akan ditempatkan pada posisi lateral yang tepat. Pada migrasi ini memberikan resolusi pencitraan lebih tinggi daripada *time imaging* (PSTM) maupun PSDM konvensional domain *offset*. Pada intinya kelebihan-kelebihan *pre stack depth migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* CRAM dapat tercapai jika model kecepatan intervalnya benar. Keuntungan yang lain yaitu migrasi ini mendiagnosa sendiri dari model kecepatan. Ketika refleksi pada *depth gather* (hasil dari PSDM) lurus, artinya model kecepatan interval yang digunakan sudah benar sehingga memberikan hasil yang lebih maksimal.

#### 4.4 Interpretasi hasil *pre stack depth migration* (PSDM)

Dari hasil proses *pre stack depth migration* (PSDM) dilakukan tahap interpretasi citra bawah permukaan. Hasil tahap interpretasi dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan pada Gambar 4.17.

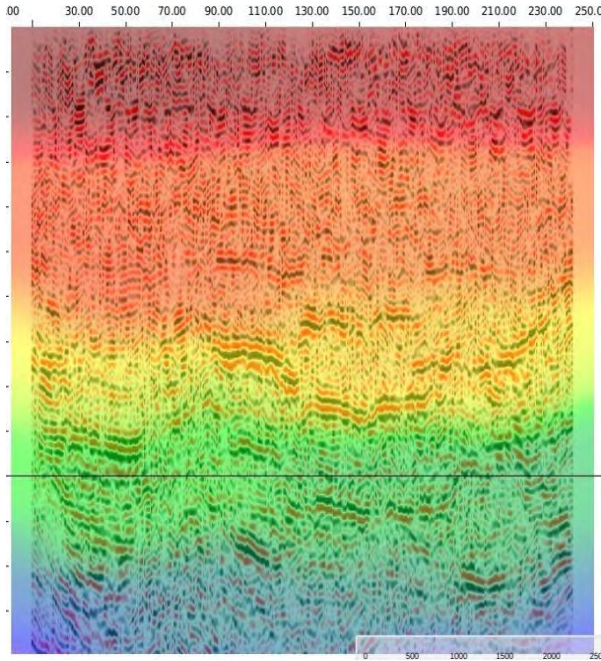


(a)



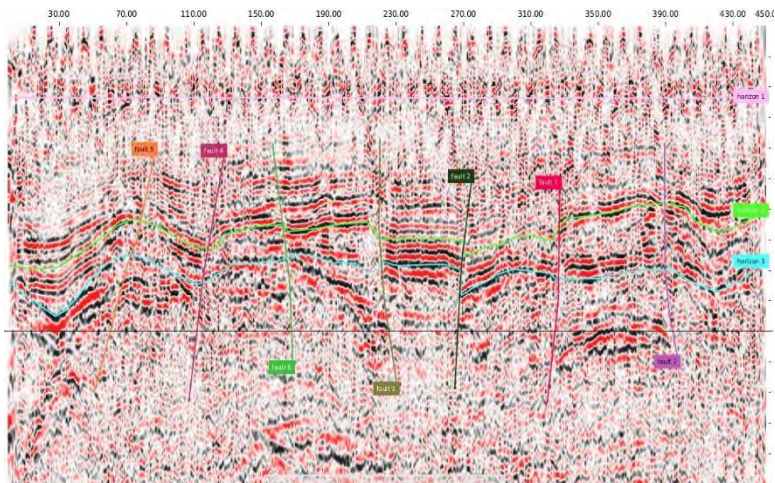
(b)



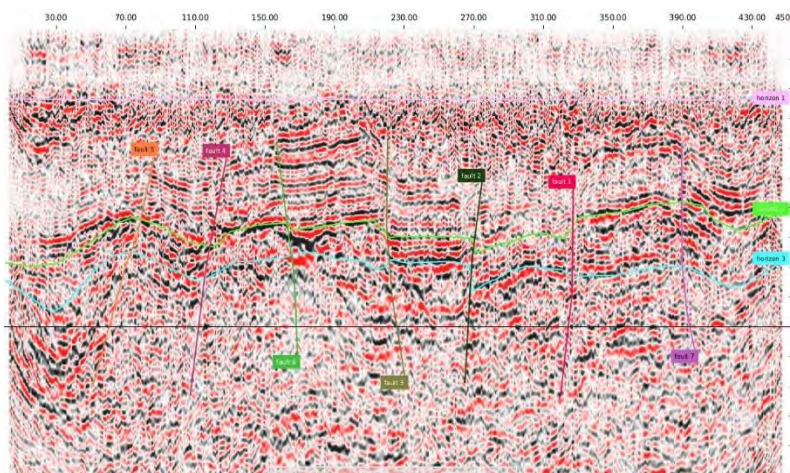


(c)

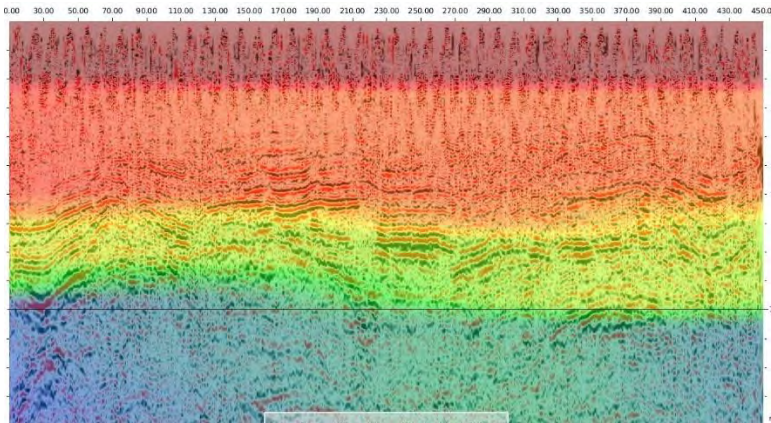
**Gambar 4.16.** Interpretasi hasil proses *pre stack depth Migration* (PSDM) *line 1* dengan menggunakan (a). *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) domain *angle*, untuk gambar (b). konvensional *Kirchhoff* domain *offset*, gambar (c). Hasil overlay *velocity interval and section*



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.17.** Interpretasi hasil proses *pre stack depth Migration* (PSDM) line 2 dengan menggunakan (a). *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) domain angle, untuk gambar (b). konvensional *Kirchhoff* domain offset, gambar (c). Hasil overlay *velocity interval and section*

Pada migrasi *common reflection angle migration* (CRAM), dapat diperhatikan dari segi pemodelan kecepatan interval yang digunakan, terdapat variasi kecepatan lateral yang sangat berbeda sehingga migrasi dengan algoritma *Kirchhoff domain offset* pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 (b) kurang mampu menangani perubahan variasi kecepatan lateral yang cukup tinggi tersebut. Keunggulan dari *pre stack depth migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM), dapat dilihat pada Gambar 4.16 (a) dan pada Gambar 4.17 (a), dimana terlihat lebih mudah menginterpretasikan posisi-posisi patahan dan juga reflektor-reflektor yang terletak dibawah bidang patahan. Selain ini migrasi dengan metode *common reflection angle migration* (CRAM) ini bekerja berdasarkan domain angle dengan analisa kemiringan reflektor tidak seperti metode konvensional menggunakan algoritma *Kirchhoff* domain offset.

Dari hasil-hasil yang diperoleh dapat diambil kesimpulan bahwa *pre stack depth migration* (PSDM) *Common Reflection*

*Angle Migration* (CRAM) memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan algoritma *Kirchhoff* domain *offset* pada Gambar 4.16 (b) dan Gambar 4.17 (b). Perbedaan ini terletak pada *raypath* dimana pada algoritma *Kirchhoff* domain *offset* hanya menggunakan *single raypath*, sedangkan pada (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) menggunakan *multipath*. *Multipath* yang dimaksud adalah sinar-sinar yang perlu diikuti sertakan dalam perhitungan *travel time* dari titik *image* dibawah permukaan menuju penerima dipermukaan diantaranya sinar yang dari sumber langsung menuju target reflektor kemudian kembali ke penerima, sinar yang terefleksikan dari reflektor, dan sinar yang terefraksikan dari reflektor.

Pentingnya memasukkan sinar-sinar tersebut ke perhitungan adalah sinar refleksi yang langsung dan memiliki sudut tangensial akan saling berinterferensi yang bersifat destruktif disebabkan keduanya memiliki nilai amplitude yang relative sebanding. Hal ini telah dibuktikan dalam suatu *experiment* dan perhitungan dengan menggunakan bidang planar yang terletak diantara medium dengan kecepatan yang berbeda antara medium rendah dan medium tinggi. *Pre stack depth migration* (PSDM) *Common Reflection Angle Migration* (CRAM) lebih baik daripada algoritma *Kirchhoff* domain *offset*, hal ini disebabkan *imaging* dengan pendekatan *multipath* memiliki hasil yang optimal jika dilakukan pada dimensi *common angle reflection* (CRAM). Pada dasarnya penyebabnya adalah untuk setiap titik *image*, kemiringan dan sudut refleksi, *raypath* dari sumber dan penerima menuju titik *image* didefinisikan secara unik. Hal ini menyebabkan metode *common reflection angle migration* (CRAM) dapat menghasilkan suatu system yang sangat baik dalam menghasilkan *image* pada dimensi kedalaman. Sistem ini memiliki kemampuan untuk mengekstrak suatu informasi dengan resolusi yang baik mengenai model bawah permukaan. Baik pada objek yang memiliki struktur yang menerus hingga ke permukaan dan *event-event* dengan skala kecil, seperti rekahan, patahan sehingga keberadaannya masih dapat terdeteksi, walaupun terletak dibawah struktur geologi yang kompleks, sehingga tujuan dari penelitian tugas akhir ini sudah

tercapai. Hasil dari *pre stack depth migration* (PSDM) ini dapat mempermudah dalam tahap interpretasi, hasil interpretasi yang benar dapat memberikan hasil yang menjanjikan dalam eksplorasi minyak bumi.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa:

- Proses *pre stack depth migration* (PSDM) memberikan resolusi citra bawah permukaan yang lebih baik dibandingkan dari hasil proses *pre stack time migration* (PSTM) terbukti dengan adanya kemenerusan pola *reflektor* yang lebih jelas, dan (PSDM) mampu mengoreksi efek *pull up* yang ada pada proses (PSTM).
- Metode *horizon based depth tomography* merupakan metode yang tepat untuk menentukan model *interval velocity*. Metode ini mampu melakukan perbaikan terhadap model *interval velocity* yang sesuai untuk migrasi domain kedalaman *pre stack depth migration* (PSDM). Hasil *interval velocity* yang baik dapat memberikan citra bawah permukaan yang lebih maksimal.
- Metode *pre stack depth migration* (PSDM) *common reflection angle migration* (CRAM) dapat mengatasi masalah *imaging* pada struktur yang kompleks sehingga metode PSDM CRAM ini dapat memberikan hasil citra bawah permukaan yang lebih baik karena menggunakan konsep *multipath*.

#### 5.2 Saran

- Perlu dilakukan *study* lebih lanjut terkait metode *common reflection angle migration* (CRAM) pada parameter nilai aperture yang digunakan untuk menghasilkan *imaging* domain kedalaman yang lebih maksimal.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

Adhiputra, Kurniawan. 2011. Migrasi *Pre Stack* Dimensi Kedalaman Untuk Pencitraan Struktur Komplek Dengan Algoritma *Local Angle Domain*. Jakarta: Universitas Indonesia

Braile, L.W. 2006. SeismicWave. Purdue University.

<http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/waves/Rwave.htm>

<http://www.geometrics.com/applications/frequency-asked-questions/seismic-general/> di akses pada tanggal 3 Juni 2016

Dean K. Clark, Maheswara Phani Babu. 2016. *Common Reflection Angle Migration (CRAM) for Improved Input to Reservoir Description-an example from offshore India*. Paradigm: K.Neogi, Deepak Sareen, ONGC.

Fagin Stuart. 2002. Model-Based Imaging, Course Note Series, No.10, SEG, Tulsa.

Hira Nasmy. 2011. Inversi Lambda Mu Rho untuk Memetakan Penyebaran Litologi dan Hidrokarbon pada Formasi manggala Lapangan “X4” Cekungan Sumatera Tengah. FMIPA-UI

Koren, Z, I. Ravve, A. Bartana, and D.Kosloff,. 2007. *Local Angle Domain in Seismic Imaging: Presented at the 69<sup>th</sup> Annual International Conference and Exhibition*.

Koren, Z, X. Sheng, and D. Kosloff, 2002, *Target-Oriented Common-Reflection Angle Migration: Presented at the 72<sup>nd</sup> Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts*

Kurniawan, A. 2012. Studi Pencitraan Struktur Bawah Permukaan Bumi Menggunakan Metode *Pre Stack Depth Migration (PSDM)* pada lintasan AK-213 di Daerah Jawa Timur Bagian Utara. Skripsi: Universitas Lampung. Bandar Lampung.



Michael, L, Chhe, HH, Russell. H. Flynn, J.M, and Carigali Hess Sdn, Bhd. 2011. *Application of PSDM Imaging for Reservoir Characterisation in the Northern Malay Basin: A case Study. International Petroleum Technology Conference 14817*. Bangkok, Thailand.

Mualimin, Hisan, R.S, Djoko, S.B, Sumahardi, B. 2004, *Velocity Model Building pada Pre Stack Depth Migration: (Pencitraan pada Struktur yang Kompleks)*. Prosicking PIT HAGI ke-29, Yogyakarta.

Paradigm. 1999. 2D Deph Migration Manual Book.

Paradigm, 2015. *Common Reflection Angle Migration Next-Generation Imaging in the Local Angle Domain*.

Prakoso, Pandhu. 2009. Migrasi Data Seismik 3D Menggunakan Metode Kirchhoff Pre Stack Depth Migration (Kirchhoff PSDM) Pada Lapangan Nirmala Cekungan Jawa Barat Bagian Utara. UI. Jakarta.

Primaditaningtyas, W. 2011. Laporan Kerja Praktek: Pengolahan Data Seismik 2D Lapangan “X” Universitas Line Indonesia “P”. Depok.

Priyono, A. 2006. Diktat Kuliah Metode Seismik I. Departemen Teknik Geofisika. Institut Teknologi Bandung: Bandung

Riyadi, Praditiyo. 2011. Analisa Kecepatan Data Seismik Refleksi 2D Zona Darat Menggunakan Metode Semblance. UIN. Jakarta

Sharer, P. 2009. Introduction To Seismology 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge University Press, USA

Shroor, M. 2010. *Geology and Geophysics in osl Exploration*. <http://www.arab-eng.org/vb/t187132.html>(diunduh: 5 Maret 2014).

- Sukmono, S. 2008. *An Introduction to Seismic Reservoir Analysis*. Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Supriyanto. 2007. Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi. Departemen Fisika-FMIPA. Universitas Indonesia.
- S.W.Fagin,U.Egozi, Model Based Depth Imaging, Society of Exploration Geophysicist, 1998
- Guntoro, Thariq. 2014. *Pre Stack Depth Migration Vertical Transverse Isotropy (PSDM VTI) pada Data Seismik Laut 2D*. FMIPA-ITS.
- Yilmaz, Ozdogan. 1987. *Seismic Data Processing*. Society Exploration Geophysics.
- Yilmaz, O. 2001. *Seismic Data Analysis Volume 1 2<sup>nd</sup> ed*. Society of Exploration Geophysics. Tulsa.
- Zvi Koren and Igor Ravve.2005. *Constrained Velocity Inversion*. Paradigm Geophysical. SEG/Houston.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



**Lina Purnawati** lahir pada tanggal 23 Desember 1993 di Magetan sebagai anak tunggal. Demi meraih cita-citanya, penulis mengawali pendidikan Sekolah Dasar di SDN Sidorejo 1. Kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama di SMPN 2 DOKO. Setelah lulus dari SMP, penulis melanjutkan studi di SMAN 1 TALUN di bidang Sains. Pada tahun 2012 penulis berhasil meloloskan namanya dari tes SBMPTN di Institut Teknologi Sepuluh Nopember sebagai mahasiswa baru Jurusan Fisika FMIPA. Selama kuliah penulis mengambil bidang minat Fisika Bumi. Selain aktif di bidang akademik, penulis juga aktif dalam berorganisasi Intra maupun Ekstra Kampus. Mengawali sebagai staff Departemen Dalam Negeri HIMASIKA ITS di tahun 2013-2014 dan staff Departemen PSDM BEM FMIPA ITS di tahun 2013-2014. Kemudian penulis menjabat sebagai Ketua Divisi Pelatihan Departemen PSDM BEM FMIPA ITS di tahun 2014-2015. Selain itu penulis juga menjabat sebagai staff ahli Departemen Hubungan luar HIMASIKA ITS dan sekaligus menjadi bendahara departemen pada tahun 2014-2015. Penulis juga aktif di organisasi eksternal dengan menjabat sebagai *staff of Public Relation* AAPG ITS SC pada tahun 2014-2015 dan *Secretary of Public Relation* AAPG ITS SC pada tahun 2015-2016. Sebagai mahasiswa yang aktif dalam berorganisasi, penulis juga aktif dalam dunia kepanduan pada tahun 2013-2016 untuk melatih kemampuan penulis dalam bidang *Public Speaking*, penulis sudah banyak memandu dalam berbagai kegiatan baik di jurusan maupun fakultas seperti LKMM Pra-TD (fakultas), LKMM TD (jurusan), dan PP LKMM (fakultas). Untuk keperluan diskusi terkait Tugas Akhir penulis dapat dihubungi melalui via email di [linapurnawati93@gmail.com](mailto:linapurnawati93@gmail.com).